

PVC NA CONSTRUÇÃO

Análise de algumas aplicações

TIAGO FERREIRA BARBOSA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor José Manuel Marques Amorim de
Araújo Faria

SETEMBRO DE 2015

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2014/2015

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2014/2015 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2015*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Aos meus familiares e amigos

All great achievements require time

Maya Angelou

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer em primeiro lugar aos meus pais por me terem proporcionado a oportunidade de iniciar a etapa que agora termino. Agradeço também a todos aqueles que me acompanharam no difícil caminho que se me apresentou, em especial à Maria Eduarda.

Agradeço também aos meus professores na FEUP, em particular ao meu orientador que me acompanhou nesta última etapa tão importante.

RESUMO

A indústria da construção tem a necessidade de estar em constante atualização, sendo para isso essencial a procura de novas soluções. Como tal é preciso desenvolver novas utilizações ou novos materiais que permitam atingir desempenhos sustentáveis tanto a nível económico como ambiental não descuidando a eficácia tecnológica que estes precisam de garantir.

Nesse âmbito, começou-se por fazer uma caracterização detalhada de um material já com presença significativa na área da construção civil, o PVC, procurando também novos desenvolvimentos ao nível da sua formulação que pudessem corrigir alguns eventuais pontos fracos.

Foram estudadas novas tecnologias de aplicação do material, como sistemas de PVC com betão armado, sistemas de revestimento, sistemas de paredes leves não estruturais, decks e casas modulares. Também foi aprofundada a literatura correspondente a um uso mais comum, as caixilharias.

PALAVRAS-CHAVE: PVC, construção civil, caixilharia, sistemas PVC-betão, inovação.

ABSTRACT

The construction industry has the need for constant updates, for that it is essential to search for new solutions. As such, there is a need to develop either new uses or new materials that allow us to achieve a sustainable performance both economically and environmentally not neglecting the technological effectiveness they need to guarantee.

In this context, it was first made a detailed characterization of a material that has a significant presence in the construction industry, PVC, while also looking for new developments in terms of its formulation that aimed to fix some of potential weaknesses.

A comprised study of new technologies for application of the material was made, such as PVC and reinforced concrete systems, coating systems, lightweight non-structural wall systems, modular houses and decking systems. The literature regarding a more common use, window and door frames, was also approached in a more meticulous way.

KEYWORDS: PVC, construction, PVC and concrete systems, window frames, innovation.

ÍNDICE GERAL

| | |
|--|-------|
| AGRADECIMENTOS | i |
| RESUMO | iii |
| ABSTRACT | v |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS | 1 |
| 1.2. OBJECTIVOS | 1 |
| 1.3. METODOLOGIA | 1 |
| 2. PVC COMO MATERIAL | 3 |
| 2.1. PROCESSO DE FABRICO | 3 |
| 2.1.1. COMPOSIÇÃO QUÍMICA | 3 |
| 2.1.2. POLIMERIZAÇÃO | 4 |
| 2.1.3. ADITIVOS | 4 |
| 2.1.3.1. Estabilizadores | 5 |
| 2.1.3.2. Plastificantes | 5 |
| 2.1.3.3. Lubrificantes | 5 |
| 2.1.3.4. Cargas | 5 |
| 2.1.3.5. Modificadores de Impacto | 5 |
| 2.1.3.6. Outros Aditivos | 6 |
| 2.1.4. TIPOS DE FORMULAÇÃO E APLICAÇÕES | 6 |
| 2.1.4.1. PVC Não Plastificado | 6 |
| 2.1.4.2. PVC Plastificado | 6 |
| 2.1.4.3. Pastas de PVC | 7 |
| 2.1.4.4. Copolímeros | 7 |
| 2.1.4.5. Látices | 7 |
| 2.2. CARACTERÍSTICAS DO PVC | 8 |
| 2.2.1. CARACTERÍSTICAS DE DESEMPENHO | 8 |
| 2.2.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E MECÂNICAS | 8 |
| 2.3. COMPORTAMENTO AO FOGO, CALOR E LUZ | 9 |
| 2.3.1. COMPORTAMENTO AO FOGO | 9 |
| 2.3.2. COMPORTAMENTO AO CALOR | 11 |

| | |
|--|-----------|
| 2.3.3. COMPORTAMENTO À LUZ | 11 |
| 2.4. MELHORIAS DO COMPORTAMENTO MECÂNICO | 12 |
| 2.5. RECICLAGEM DO PVC | 13 |
| 3. CAIXILHARIA EM PVC | 15 |
| 3.1. ENQUADRAMENTO GERAL | 15 |
| 3.1.1. DEFINIÇÃO | 15 |
| 3.1.2. MERCADO | 15 |
| 3.1.3. TIPOLOGIAS DE CAIXILHARIA | 16 |
| 3.1.4. COMPONENTES | 18 |
| 3.2. PROCESSO DE FABRICO | 18 |
| 3.2.1. FORMULAÇÃO | 18 |
| 3.2.2. FABRICAÇÃO DOS PERFIS | 19 |
| 3.2.3. FABRICAÇÃO DO CAIXILHO | 19 |
| 3.3. MONTAGEM DO CAIXILHO | 21 |
| 3.3.1. REQUISITOS BÁSICOS DE MONTAGEM | 21 |
| 3.3.2. TOLERÂNCIA DOS MATERIAIS E MONTAGEM | 21 |
| 3.3.3. COLOCAÇÃO EM OBRA | 21 |
| 3.3.3.1. Fixação com Grampos | 22 |
| 3.3.3.2. Fixação com Parafusos | 22 |
| 3.3.3.3. Fixação com Aros | 23 |
| 3.3.3.4. Fixação em Renovações | 23 |
| 3.3.3.5. Selagem, Vidros e Acabamentos | 23 |
| 3.4. AVALIAÇÃO EXIGENCIAL | 24 |
| 3.4.1. EXIGÊNCIAS DE DESEMPENHO | 24 |
| 3.4.1.1. Resistência Estrutural | 24 |
| 3.4.1.2. Resistência ao Vento | 24 |
| 3.4.1.3. Resistência ao Choque de Corpos Sólidos | 24 |
| 3.4.1.4. Resistência ao Fogo | 25 |
| 3.4.1.5. Reação ao Fogo | 25 |
| 3.4.1.6. Segurança na Utilização | 26 |
| 3.4.1.7. Estanquidade à Água | 27 |
| 3.4.1.8. Isolamento Térmico | 27 |
| 3.4.1.9. Transmissão de Energia Luminosa | 28 |

| | |
|--|-----------|
| 3.4.1.10. Condensação Interna | 28 |
| 3.4.1.11. Permeabilidade ao Ar | 29 |
| 3.4.1.12. Isolamento aos Ruídos Aéreos Exteriores | 29 |
| 3.4.1.13. Durabilidade | 30 |
| 3.4.2. ENQUADRAMENTO NORMATIVO | 30 |
| 3.4.2.1. Resistência ao Vento | 32 |
| 3.4.2.2. Estanquidade à Água | 33 |
| 3.4.2.3. Permeabilidade ao Ar | 33 |
| 3.4.2.4. Resistência ao Impacto | 33 |
| 3.4.2.5. Força de Manobra dos Dispositivos de Abertura | 34 |
| 3.4.2.6. Capacidade para Suportar Cargas dos Dispositivos de Segurança | 34 |
| 3.4.2.7. Coeficiente de Transmissão Térmica | 34 |
| 3.4.2.8. Desempenho Acústico | 35 |
| 3.4.2.9. Substâncias Perigosas | 35 |
| 3.4.2.10. Reação ao Fogo | 35 |
| 3.4.2.11. Propriedades de Radiação | 35 |
| 3.4.3. DESEMPENHO DAS CAIXILHARIAS EM PVC | 35 |
| 4. SISTEMAS CONSTRUTIVOS EM PVC E BETÃO ARMADO | 37 |
| 4.1. INTRODUÇÃO | 37 |
| 4.1.1. COFRAGENS <i>STAY-IN-PLACE</i> | 37 |
| 4.1.2. INFLUÊNCIA ESTRUTURAL DO PVC | 38 |
| 4.2. MATERIAIS | 40 |
| 4.2.1. PVC | 40 |
| 4.2.2. BETÃO | 40 |
| 4.2.3. ARMADURAS | 41 |
| 4.3. SOLUÇÕES PARA PAREDES | 41 |
| 4.3.1. DESCRIÇÃO DE UM SISTEMA | 41 |
| 4.3.1.1. Preparação do local | 42 |
| 4.3.1.2. Componentes | 42 |
| 4.3.1.3. Pré-montagem | 45 |
| 4.3.1.4. Escoramento | 46 |
| 4.3.1.5. Montagem da parede | 47 |

| | |
|---|-----------|
| 4.3.1.6. Montagem das aberturas..... | 50 |
| 4.3.1.7. Montagem de pilastras | 52 |
| 4.3.1.8. Montagem de saliências de suporte..... | 53 |
| 4.3.1.9. Colocação de armaduras | 53 |
| 4.3.1.10. Colocação de isolamento | 54 |
| 4.3.1.11. Juntas de betonagem | 54 |
| 4.3.1.12. Construção de um tanque com o sistema SNAPLockTight | 55 |
| 4.3.1.13. Aplicações especiais para Biogás..... | 59 |
| 4.3.1.14. Acabamento e lavagem..... | 59 |
| 4.3.1.15. Compatibilidade com vigas de cobertura em madeira | 59 |
| 4.3.1.16. Compatibilidade com tetos metálicos | 60 |
| 4.3.1.17. Compatibilidade com telhados ou pisos de betão aligeirados pré-fabricados | 61 |
| 4.3.1.18. Compatibilidade com pisos de madeira | 62 |
| 4.3.1.19. Compatibilidade com lajes maciças em betão | 63 |
| 4.3.1.20. Compatibilidade com pisos metálicos | 63 |
| 4.3.1.21. Compatibilidade com paredes interiores leves..... | 64 |
| 4.3.1.22. Compatibilidade com isolamento pelo exterior (ETICS/EIFS) | 64 |
| 4.4. OUTRAS SOLUÇÕES | 65 |
| 4.3.1. PILARES | 65 |
| 4.3.2. LAJES..... | 66 |
| 5. SISTEMAS INOVADORES À BASE DE PVC..... | 69 |
| 5.1. INTRODUÇÃO | 69 |
| 5.2. DECKS..... | 71 |
| 5.2.1. ESQUEMA | 71 |
| 5.2.2. MATERIAIS E COMPONENTES | 72 |
| 5.2.2.1. PVC | 72 |
| 5.2.2.2. Compostos de madeira e PVC (WPC-PVC) | 73 |
| 5.2.2.3. Componentes | 74 |
| 5.2.3. PORMENORIZAÇÃO..... | 76 |
| 5.3. REVESTIMENTOS | 77 |
| 5.3.1. ESQUEMA | 77 |
| 5.3.2. MATERIAIS E COMPONENTES | 77 |
| 5.3.2.1. Materiais | 77 |

| | |
|---|-----------|
| 5.3.2.2. Componentes | 78 |
| 5.3.3. PORMENORIZAÇÃO | 79 |
| 5.4. PAREDES INTERIORES NÃO ESTRUTURAIS..... | 81 |
| 5.4.1. ESQUEMA | 81 |
| 5.4.2. MATERIAIS E COMPONENTES | 81 |
| 5.4.2.1. Materiais | 81 |
| 5.4.2.2. Componentes | 82 |
| 5.4.3. PORMENORIZAÇÃO | 82 |
| 5.5. CASAS MODULARES | 83 |
| 5.5.1. ESQUEMA | 81 |
| 6. CONCLUSÃO | 87 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 89 |
| ANEXOS | 97 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Fig.1 – Molécula de Cloreto de Vinilo (VCM) | 3 |
| Fig.2 – Ciclo de produção do PVC | 4 |
| Fig.3 – Tubos e conexões em PVC-U | 6 |
| Fig.4 – Eletrodutos em PVC plastificado | 7 |
| Fig.5 – Pasta de PVC - Plastisol | 7 |
| Fig.6 – Luvas com palma revestida a látex de PVC | 8 |
| Fig.7 – Solução de caixilharia em PVC | 15 |
| Fig.8 – Diagrama de um perfil de PVC | 18 |
| Fig.9 – Perfis de PVC prontos para a montagem | 19 |
| Fig.10 – Pormenor de reforços no interior do caixilho | 20 |
| Fig.11 – Localização das fixações | 22 |
| Fig.12 – Fixação com grampos | 22 |
| Fig.13 – A:Remate com parafuso até ao reforço; B:Remate com parafuso visível na ranhura | 23 |
| Fig.14 – Procedimento para ensaio de forças de manobra | 34 |
| Fig.15 – Exemplo de parede rugosa e lisa Octaform | 42 |
| Fig.16 – Exemplos de tipos de painéis Octaform | 43 |
| Fig.17 – Exemplo de conectores Octaform | 44 |
| Fig.18 – Peças especiais de cantos e guarnições Octaform | 44 |
| Fig.19 – Transformação da caixa de transporte em mesa de trabalho | 45 |
| Fig.20 – Processo de montagem dos painéis Octaform | 46 |
| Fig.21 – Posicionamento do ligador a 45º | 46 |
| Fig.22 – Montagem do sistema Octaform a partir de um canto | 47 |
| Fig.23 – Montagem da zona corrente da parede Octaform | 48 |
| Fig.24 – Montagem de guia no exterior da parede Octaform | 48 |
| Fig.25 – Montagem do sistema Octaform em interseções de paredes | 49 |
| Fig.26 – Disposição de uma parede típica Octaform | 49 |
| Fig.27 – Montagem de aros em janelas | 50 |
| Fig.28 – Montagem de aros em portas | 51 |
| Fig.29 – Pormenor de ligação de aro metálico à laje da fundação (corte horizontal) | 51 |
| Fig.30 – Abertura de uma janela pós-montagem | 52 |
| Fig.31 – Esquema de escoramento de pilastras | 52 |

| | |
|---|----|
| Fig.32 – Detalhe de uma saliência de suporte | 53 |
| Fig.33 – Detalhe (esq.) e vista geral (dir.) de uma <i>cold joint</i> | 54 |
| Fig.34 – Sequência de execução de uma <i>cold joint</i> | 55 |
| Fig.35 – SLT <i>Zip Tool</i> | 56 |
| Fig.36 – Início do encaixe dos topos das ligações macho-fêmea em painéis SLT..... | 56 |
| Fig.37 – Encaixe parcial dos painéis SLT | 56 |
| Fig.38 – Encaixe final com a <i>Zip Tool</i> dos painéis SLT | 57 |
| Fig.39 – Montagem da parede interior do tanque | 57 |
| Fig.40 – Montagem do painel de ligação final | 58 |
| Fig.41 – Peças de fixação do isolamento | 59 |
| Fig.42 – Detalhe da ligação da parede com vigas de cobertura madeira..... | 60 |
| Fig.43 – Detalhe da ligação da parede com teto metálico a meio da parede | 61 |
| Fig.44 – Corte de painéis para apoio de laje pré-fabricada | 61 |
| Fig.45 – Detalhe da ligação da parede com laje pré-fabricada..... | 62 |
| Fig.46 – Detalhe de ligação da parede com piso de madeira | 62 |
| Fig.47 – Detalhe de ligação da parede com laje maciça..... | 63 |
| Fig.48 – Exemplo de compatibilidade com piso metálico..... | 63 |
| Fig.49 – Exemplo de compatibilidade com uma parede interior leve..... | 64 |
| Fig.50 – Detalhe de colocação de sistema de isolamento pelo exterior | 64 |
| Fig.51 – Cofragem de PVC para pilares antes da montagem..... | 65 |
| Fig.52 – Remoção de cofragem de pilares..... | 65 |
| Fig.53 – Distribuição de tensões no sistema BubbleDeck | 66 |
| Fig.54 – Módulos de Armaduras <i>Bubbledeck</i> | 67 |
| Fig.55 – Pré-Laje com sistema <i>BubbleDeck</i> | 67 |
| Fig.56 – Componentes de um deck..... | 72 |
| Fig.57 – Bancos e canteiros (esq.) e corrimao (dir.) em PVC..... | 72 |
| Fig.58 – Perfil de deck em PVC | 73 |
| Fig.59 – Perfil de deck compósito | 74 |
| Fig.60 – Exemplos de fundações para decks..... | 74 |
| Fig.61 – Exemplo de estrutura de suporte para deck | 75 |
| Fig.62 – Exemplos de fixação oculta..... | 75 |
| Fig.63 – Montagem de perfis com fixação oculta..... | 76 |
| Fig.64 – Montagem de escadas de deck..... | 76 |

| | |
|--|----|
| Fig.65 – Componentes do sistema de corrimão | 77 |
| Fig.66 – Perfil de revestimento em PVC | 78 |
| Fig.67 – Guarnições do sistema de revestimentos | 78 |
| Fig.68 – Pormenor de encaixe do sistema de revestimento em PVC | 79 |
| Fig.69 – Pormenor de montagem de canto | 79 |
| Fig.70 – Pormenor de montagem de zona corrente | 79 |
| Fig.71 – Pormenores ligação painéis de teto a parede (esq.) a travessa de telhado (dir.) | 80 |
| Fig.72 – Pormenor de encaixe de guarnições | 80 |
| Fig.73 – Pormenor de ligação painel de teto com parede de cofragem PVC..... | 81 |
| Fig.74 – Painel de parede interior em PVC..... | 82 |
| Fig.75 – Conectores para sistema de parede interior | 82 |
| Fig.76 – Painéis de paredes interiores..... | 82 |
| Fig.77 – Detalhe de soluções de paredes para casas modulares | 85 |
| Fig.78 – Construção de um sistema modular interior | 85 |

ÍNDICE DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1 – Características mecânicas de 3 tipos de PVC | 9 |
| Quadro 2 – Comparação dos métodos de processamento pós-uso do PVC | 14 |
| Quadro 3 – Tipos de movimentos da caixilharia mais comuns..... | 16 |
| Quadro 4 – Classes de reação ao fogo para produtos de construção, excluindo pavimentos | 25 |
| Quadro 5 – Definição da classificação complementar | 26 |
| Quadro 6 – Designação dos fatores de classificação | 26 |
| Quadro 7 – Características necessárias para a marcação CE | 31 |
| Quadro 8 – Classes de desempenho de resistência ao vento | 32 |
| Quadro 9 – Classes de desempenho de estanquidade à água..... | 33 |
| Quadro 10 – Classes de desempenho de permeabilidade ao ar..... | 33 |
| Quadro 11 – Classes de desempenho de resistência ao impacto..... | 34 |
| Quadro 12 – Rácios de betonagem máximos para o sistema de paredes Octaform | 40 |
| Quadro 13 – Comparação de sistema <i>Bubbledeck</i> com uma laje maciça | 66 |
| Quadro 14 – Matriz de soluções inovadoras em PVC | 71 |
| Quadro 15 – Lista de acabamentos de uma casa modular | 84 |

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

PVC – *PolyVinyl Chloride* ou Policloreto de Vinilo

VCM – *Vinyl Chloride Monomer* ou Monómero de Cloreto de Vinilo

PVC-U – *Unplasticized PolyVinyl Chloride* ou PVC não-plastificado

WPC – *Wood Plastic Composite* ou Compósito de madeira e plástico

1

INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A indústria da construção como qualquer outra indústria, para garantir o seu sucesso, tem de evoluir e estar constantemente na busca de progresso. Esse progresso tem de ser procurado sob a forma de novos materiais e processos, que permitam melhores soluções a vários níveis. A nível técnico, tentando resolver problemas e preocupações nos materiais e processos atualmente utilizados, procurando outros que levem a desempenhos semelhantes ou melhores. A nível económico, tentando que essas novas soluções tragam benefícios tanto a nível de tempo como de custos e a nível ambiental, explorando materiais reutilizáveis ou recicláveis que permitam uma construção mais sustentável.

De forma a assegurar essa evolução, parece importante haver um investimento na criação de novos materiais e processos, bem como no melhoramento significativo dos existentes. Os polímeros, em particular o PVC, inserem-se nesta última categoria, já que apesar da sua existência ser conhecida e documentada há mais de cem anos, a sua utilização na construção encontra-se pouco desenvolvida. Para o efeito, é necessário reunir e/ou criar informação relativa aos usos menos comuns e a possíveis melhorias destes materiais de maneira a gerar novas utilizações ou melhorar as existentes.

1.2. OBJETIVOS

O principal objetivo desta dissertação consiste na caracterização da utilização do PVC aplicado à indústria da construção civil, fazendo uma exposição e descrição dos sistemas existentes e estudando a possibilidade de definir melhorias na sua aplicação, tanto no presente como no futuro. Os sistemas mais usuais e mais inovadores, que recorrem ao PVC, são abordados em termos técnicos, económicos e ambientais, tentando compará-los nesses contornos com as soluções tradicionais. Este estudo tem também como objetivo direcionar a indústria para a construção *low-cost*, procurando assim com estas soluções em PVC, novas formas de compatibilização com os materiais existentes, criando edifícios que cumpram as principais exigências técnicas e ambientais, a um menor custo.

1.3. METODOLOGIA

Esta dissertação começa pela descrição do PVC como material, desenvolvendo o seu processo de fabrico e abordando-o de uma forma breve sob o ponto de vista químico nas fases iniciais da sua produção. Em seguida, referem-se os aditivos envolvidos no seu fabrico, e que lhe conferem a versatilidade que lhe é reconhecida, explicando cada um deles e os efeitos da sua utilização no fabrico do material. Para completar a descrição do processo faz-se uma lista dos tipos de PVC existentes e as

aplicações mais comuns para cada formulação. Seguidamente, caracteriza-se o PVC relativamente a dois aspetos distintos: desempenho e comportamento físico e mecânico. Para finalizar a descrição do material, achou-se importante abordar de forma isolada diferentes questões mais atuais, nomeadamente o comportamento ao fogo, luz, calor e mecânico e a reciclagem do material, já que são aspetos que condicionam de forma ativa a utilização com maior sucesso do PVC na construção.

Numa segunda fase escolheu-se apresentar uma das utilizações mais desenvolvidas e utilizadas do material na indústria da construção civil: as caixilharias. Começa-se por fazer uma breve descrição e um apanhado geral do mercado atual, definindo em seguida as tipologias mais comuns e os componentes deste produto. Logo depois descreve-se o processo de fabrico dos caixilhos assim como o processo de montagem em obra, terminando com uma caracterização detalhada das principais exigências ao nível do desempenho, incluindo o enquadramento dessas mesmas exigências no panorama normativo nacional e europeu.

Seguindo na mesma linha de raciocínio, procurou-se expôr uma aplicação do PVC menos desenvolvida, mas com grande potencial de utilização na construção civil a curto prazo. Optou-se por focar esta parte da dissertação em sistemas estruturais compostos de PVC e betão armado, nos quais o PVC funciona como sistema de cofragem perdida. São mencionados os materiais e respetivas limitações no uso destes sistemas, assim como a influência estrutural que o PVC pode ter aquando deste tipo de uso. Desenvolve-se depois o uso destes sistemas em paredes com grande detalhe, devido não só à quantidade e qualidade de informação disponível mas também devido à aceitação geral dos benefícios e potencialidades da aplicação destes sistemas neste elemento estrutural, abordando depois com menor detalhe outros usos em elementos como pilares e lajes.

Por fim decidiu-se caracterizar alguns sistemas inovadores, menos usados ou de menor expressão no mercado. São abordados decks em PVC, PVC como material de revestimento, PVC em paredes interiores não estruturais e casas em PVC. O desenvolvimento de alguns destes sistemas é feito com menor detalhe, já que estes não têm ainda expressão significativa no mercado levando assim à existência de menos literatura sobre o assunto.

2

PVC COMO MATERIAL

2.1. PROCESSO DE FABRICO

2.1.1. COMPOSIÇÃO QUÍMICA

O Policloreto de Vinilo, vulgarmente conhecido pelo acrónimo da sua designação em inglês PVC (*PolyVinyl Chloride*), é uma combinação química de carbono, hidrogénio e carbono. Estes componentes têm a sua origem em duas substâncias químicas: cloro (57%) e etileno (43%), que derivam de duas matérias primas naturais: o sal comum (ou sal gema) e o petróleo, respetivamente. O processo de fabrico passa por decompor uma mistura de sal e água por electrólise (reação química decorrente da passagem de corrente elétrica) da qual resulta o cloro. A junção de cloro com etileno forma o dicloreto de etileno, que posteriormente é transformado num gás chamado cloreto de vinilo (VCM ou *Vinyl Chloride Monomer*). Por polimerização do cloreto de vinilo forma-se o PVC [1]. O VCM é portanto a unidade básica (monómero) que se repete na cadeia polimérica do PVC, como se representa na figura seguinte. [2]

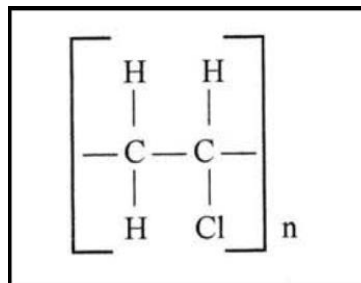


Fig.1 – Molécula de Cloreto de Vinilo (VCM) [2]

O grau de polimerização será definido pelo número de vezes que esta unidade se repetirá na cadeia molecular e é representado na figura por n [2]. O polímero em si ainda não é passível de ser trabalhado e utilizado, sendo apenas isso possível através do uso de aditivos, formando um composto de PVC [3].

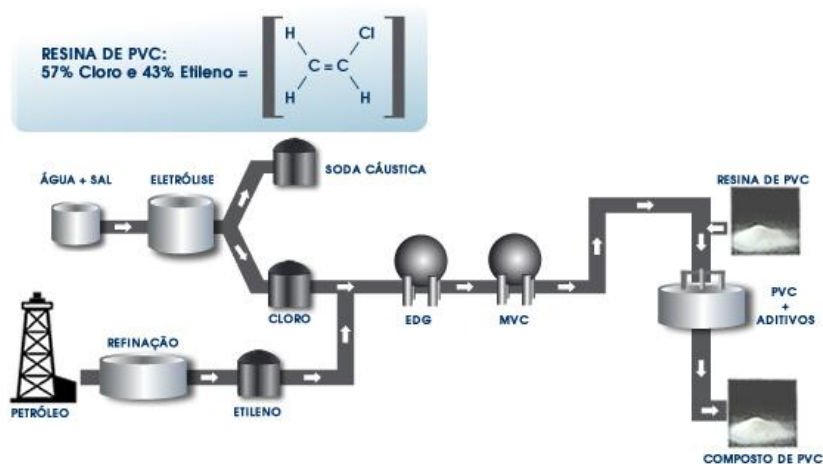


Fig.2 – Ciclo de produção do PVC [4]

2.1.2. POLIMERIZAÇÃO

O processo de polimerização pode ser realizado de várias formas: as duas principais são a polimerização em suspensão e a polimerização em emulsão. Ambos os processos usam um método semi-contínuo, em que os reatores são alimentados com o VCM, aditivos e catalizadores que é executado em meio aquoso. As diferenças dos processos traduzem-se no tamanho e nas características dos grãos de PVC obtidos. A escolha do processo irá influenciar as características do PVC e portanto deverão ser tidas em conta as aplicações e os resultados que se pretendem obter com este, aquando da escolha. Após o final da reação, os reatores são esvaziados e a mistura de água e PVC é separada do VCM que não reagiu. O PVC é centrifugado, secado, peneirado e embalado. Devido à toxicidade do VCM é importante que este não seja libertado na atmosfera nem esteja presente no produto final. Por essa razão todo o processo está preparado para reduzir ao máximo essas perdas seja para o meio ambiente seja para o produto final. É esperado que a resina de PVC contenha menos de 1 grama de VCM por cada tonelada de produto [5]. Existem ainda processos de polimerização menos utilizados como é o caso da polimerização por massa e a polimerização por microsuspensão ou por dispersão [2].

2.1.3. ADITIVOS

Uma das razões para o sucesso do PVC no mercado é a versatilidade na sua formulação. Os produtos finais podem variar entre tubagem rígida e caixilharias até espumas flexíveis. Essa formulação depende invariavelmente do tratamento da resina de PVC com aditivos, que irão influenciar as características físicas e mecânicas do material como a sua resistência e a sua flexibilidade, permitindo obter diferentes produtos para as mais variadas aplicações. Alguns aditivos por si só podem aumentar uma determinada propriedade e por outro lado diminuir outra. Por isso, uma correta formulação implica o uso de diferentes aditivos de maneira a obter as características ótimas no produto final [2].

Dos aditivos existentes, os mais importantes para a formulação do PVC são os estabilizadores e os plastificantes, pois estes influenciam diretamente as propriedades mais procuradas nos produtos finais, tais como a durabilidade ou a rigidez. Existem ainda outros como os lubrificantes, cargas, modificadores de impacto, corantes, entre outros [2].

2.1.3.1. Estabilizadores

Sabe-se que elevar a temperatura do PVC acima dos 70°C tem inúmeros efeitos adversos nas propriedades do polímero. Sendo que as temperaturas usadas no processamento do PVC são na ordem dos 150-200°C, essas propriedades poderão sofrer grande degradação ou até mesmo desaparecer, tornando o produto final inútil. Os estabilizadores são usados exatamente com o fim de retardar ou equilibrar esses efeitos adversos, mantendo as propriedades em causa estáveis no produto final. Existem inúmeros aditivos estabilizadores cujas funções podem variar desde aumentar a resistência às intempéries (ex: radiações UV, calor, oxidação, etc.) até aumentar a resistência a agentes químicos (ex: ácido clorídrico, enxofre, etc.) [6].

2.1.3.2. Plastificantes

Além dos estabilizadores existem também os plastificantes, que no fundo são aditivos usados para aumentar a processabilidade do plástico (permitem baixar a temperatura de transformação), garantindo também maior deformabilidade e menor fragilidade ao produto acabado [2].

O uso destes aditivos no processamento do PVC a altas temperaturas, permite conferir ao produto final um nível de flexibilidade, que varia de acordo com o plastificante utilizado e a sua quantidade [6].

2.1.3.3. Lubrificantes

Estes aditivos visam reduzir as forças de fricção inerentes ao processamento dos compostos de PVC, que de outro modo podem levar à degradação do material. Nos compostos de PVC plastificado, a principal função dos lubrificantes é a de evitar a aderência do composto ao equipamento de processamento, provocada pelas altas temperaturas do mesmo. Quando usados com este propósito, são chamados de lubrificantes externos. Nos compostos de PVC não plastificado, é comum incorporar pelo menos outro tipo de lubrificante conhecido como lubrificante interno. Este reduz o atrito intermolecular e pretende principalmente diminuir a viscosidade da massa fundida permitindo um melhor fluxo desta [6].

2.1.3.4. Cargas

As cargas são comumente utilizadas em compostos de PVC de forma a reduzir o seu custo, funcionando essencialmente como um enchimento. Podem também ser aplicadas por razões técnicas, como por exemplo reduzir a viscosidade dum composto altamente plastificado ou melhorar a deformação ao calor de um cabo. Para avaliar a eficácia económica de uma carga é necessário ter em conta qual o volume a adicionar sem por em causa as propriedades físicas ou mecânicas do produto final [6].

2.1.3.5. Modificadores de Impacto

Os compostos de PVC não plastificado, quando sujeitos às temperaturas altas no seu processamento, apresentam alta viscosidade, o que leva a algumas dificuldades no seu processamento resultando num produto acabado demasiado quebradiço para algumas aplicações específicas. Para resolver estes problemas é costume usar modificadores de impacto. Estes são usados, como o nome indica, para aumentar a resistência ao impacto e tornar o material mais robusto [6].

2.1.3.6. Outros Aditivos

Poderão ser também usados, nas formulações do PVC, outros aditivos cujas funções são relativamente menos importantes. É o caso por exemplo do trióxido de antimónio que pode ser utilizado para aumentar a capacidade ignífuga dos compostos. Apesar do bom desempenho destes nesse campo, alguns plastificantes são inflamáveis e é necessário contrariar esse efeito. Também poderão ser adicionados corantes, para alterar a cor do produto final e até agentes que diminuam a carga estática em produtos que assim o exijam [6].

2.1.4. TIPOS DE FORMULAÇÃO E APLICAÇÕES

Podem-se distinguir cinco grupos de formulações de compostos de PVC, que acarretam diferentes métodos de processamento, assim como diferentes produtos finais. São eles o PVC não plastificado (PVC-U), o PVC plastificado, as pastas de PVC (Plastisol, Organosol, etc.), os Copolímeros e os Látices de PVC [6].

2.1.4.1. PVC Não Plastificado

Os compostos de PVC-U são produtos que não foram amolecidos por plastificadores na sua formulação e portanto a sua característica base é a resistência, obtendo-se um produto mais rígido e menos deformável. As utilizações mais comuns do PVC-U são na área da construção civil e englobam todo o tipo de tubagens e encaixes, perfis para os mais diversos usos (caixilharias, divisórias residenciais, etc.), telhas ou eletrodutos. Nas utilizações com menor expressão destacam-se as garrafas para todo o tipo de líquidos, os filmes e folhas plásticos e carcaças para utensílios domésticos ou ferramentas, [6] [7].



Fig.3 – Tubos e conexões em PVC-U [8]

2.1.4.2. PVC Plastificado

O PVC plastificado, ao contrário do PVC-U, foi alterado com aditivos plastificantes para aumentar a sua deformabilidade e permitir aplicações em que se procure a flexibilidade do produto final, como característica dominante. Os produtos finais mais utilizados incluem isolamento de fios e cabos, filmes

e laminados para estofamentos, coberturas de parede, cortinas e semelhantes e ainda para pavimentos e calçado, [6] [7].



Fig.4 – Eletrodutos em PVC plastificado [9]

2.1.4.3. Pastas de PVC

As pastas de PVC apresentam-se, à temperatura ambiente, como uma massa viscosa e têm nessa característica a sua principal vantagem, já que podem ser aplicadas em diferentes superfícies sendo depois endurecidas pela aplicação de temperatura. São bastante usadas no fabrico de couro sintético, estampagens, pisos vinílicos, espumas para juntas selantes, entre outros, [6] [7].



Fig.5 – Pasta de PVC – Plastisol [10]

2.1.4.4. Copolímeros

Os Copolímeros obtêm-se com a junção do VCM com outros monómeros, isto é, um polímero formado por diferentes monómeros, podendo adquirir características dos dois monómeros. Estes, dependendo naturalmente do polímero usado na mistura, são frequentemente usados em discos de vinil e em pavimentos, ou ainda em tintas, filmes e filamentos, [6] [7].

2.1.4.5. Látices

Os látices de PVC são o produto resultante da polimerização por emulsão ou micro-suspensão, que no fundo é uma solução aquosa de pequenas partículas de polímero que poderão ser tratadas posteriormente com aditivos. O composto é usado na sua forma líquida e o seu processamento depende da existência de um suporte para a formação do filme de resina de PVC na sua superfície. Por isso são usados para cobrir ou impregnar materiais têxteis ou papel, criando peças de um material borrachoso e flexível que conhecemos por látex, [6] [7].



Fig.6 – Luvas com palma revestida a látex de PVC [11]

2.2. CARACTERÍSTICAS DO PVC

2.2.1. CARACTERÍSTICAS DE DESEMPENHO

Devido à grande variedade de formulações possíveis com o PVC, é difícil de generalizar as características e propriedades dos compostos. No entanto há características que se mantêm constantes independentemente da formulação e são intrínsecas ao próprio polímero. Antes de ser processado e ser transformado num composto, o polímero apresenta-se sob a forma de um pó branco, em estado sólido à temperatura ambiente. É um material termoplástico, limitadamente estável à aplicação de calor e com tendência para aderir a superfícies metálicas quando aquecido. A sua solubilidade em água é praticamente nula, é inodoro ou de odor brando e quimicamente estável, não ocorrendo decomposição ou reação com outros produtos em condições normais e é considerado um produto não tóxico e inofensivo quando em contacto com a pele [7]. Devido ao cloro existente na sua estrutura molecular, mesmo antes do seu processamento, o PVC não se queima com facilidade e é auto-extinguível [5].

As características originais do PVC são a principal motivação da grande aceitação que este tem no mercado. Além das mencionadas cabe destacar, [3] [6] [7]:

- Versatilidade na formulação, tanto em termos gerais (PVC Rígido, Flexível, Pastas, Copolímeros e Látices) como em termos específicos (maior resistência ao choque, fogo, etc.);
- Baixo preço relativamente a outros polímeros;
- Facilidade de ser trabalhado (solda, colagem, corte, etc.);
- Bom isolamento térmico e acústico;
- Boa estabilidade dimensional;
- Resistente aos agentes atmosféricos (quando corretamente formulado);
- Não suscetível ao ataque de agentes biológicos (fungos, microrganismos, etc.);
- Muito boa resistência química, particularmente aos hidrocarbonetos;
- Impermeável a gases e líquidos;
- Grande durabilidade e resistência (quando corretamente formulado): na construção civil a média da sua vida útil nos diferentes produtos está acima dos 60 anos;
- Material leve e reciclável.

2.2.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E MECÂNICAS

Tal como nas restantes propriedades, a generalização das características mecânicas é difícil, pois estas são consideravelmente afetadas pelo tipo e quantidade de aditivos utilizados na formulação do

composto. Por isso as diferentes formulações irão resultar em valores diferentes de cada propriedade, sendo que diversos autores sugerem valores balizados que nem sempre coincidem, devido à enorme quantidade de possíveis formulações. O quadro 1 mostra algumas características mecânicas de três tipos de PVC. Importa relevar que os diferentes métodos de medição influem nos resultados dos testes e portanto os valores apresentados são valores de referência e constituem uma estimativa do que pode ser expectável, visto que ainda dentro de cada tipo de PVC podemos encontrar diferentes formas como filmes ou laminados que irão apresentar valores provavelmente diferentes.

Quadro 1 – Características mecânicas de 3 tipos de PVC, [7] [12] [13] [14]

| Propriedades | PVC não plastificado | PVC plastificado | Plastisol |
|--|----------------------|------------------|-------------|
| Massa volúmica (g/cm ³) | 1,30 - 1,58 | 1,20 - 1,70 | 1,12 - 1,75 |
| Absorção de água (%) (24h, 3mm de espessura) | 0,04 - 0,40 | 0,15 - 0,75 | 0,10 - 0,80 |
| Resistência à tração (MPa) | 40 - 50 | 10 - 25 | 15 - 50 |
| Alongamento na rotura (%) | 20 - 80 | 200 - 450 | 200 - 500 |
| Dureza Shore | 65 - 85 D | 50 - 100 A | 50 - 75 A |
| Condutibilidade Térmica (W/m.°C) | 0,14 - 0,28 | 0,14 - 0,17 | 0,13 - 0,17 |

Podemos verificar que as características mecânicas são consideravelmente afetadas pelo tipo de formulação utilizada e que estão de acordo com o que se pretende em cada formulação. O PVC-U apresenta uma maior dureza em relação aos outros (devido à escala da dureza Shore ser a D) que era o que se pretendia, tendo também no geral uma resistência à tração maior. Verificamos também que o Plastisol e o PVC plastificado são mais flexíveis e apresentam alongamentos na rotura bastante maiores. De notar também que os valores balizados do PVC plastificado se assemelham bastante aos do Plastisol, o que se explica pela semelhança na formulação e pelos valores associados ao Plastisol serem medidos após o seu endurecimento. Para efeitos de construção, é também interessante analisar a condutibilidade térmica e a absorção de água dos materiais. Podemos observar que o PVC-U é o que apresenta o melhor comportamento em relação à absorção de água e que os três materiais apresentam valores bastante idênticos na condutividade térmica, dentro de uma gama que pode ser considerada aceitável em termos de comportamento térmico.

2.3. COMPORTAMENTO AO FOGO, CALOR E LUZ

O uso do PVC na construção traz consigo preocupações, inerentes à utilização de qualquer edifício, sejam elas relativas a questões de segurança ou de durabilidade do produto. Entre essas preocupações encontram-se três (fogo, calor e luz) que se achou importante analisar, devido ao comportamento natural do PVC face a estes.

2.3.1. COMPORTAMENTO AO FOGO

Apesar de ser um termoplástico, o PVC pode ser usado em situações que requeiram resistência ao fogo, devido ao alto conteúdo de cloro presente na sua estrutura química assim como a sua

compatibilidade com uma larga gama de aditivos retardadores de chamas e de supressão de fumos. Os aditivos mais usados na formulação do PVC, para a melhoria de comportamento ao fogo, são os seguintes [15]:

- Óxido de antimónio;
- Tri-hidrato de alumínio;
- Hidróxido de magnésio;
- Supressores de fumo à base de molibdénio;
- Plastificantes com propriedades retardadoras de chamas;
- Carbonizadores (incluindo alguns compostos à base de cobre);
- Borato de zinco.

O óxido de antimónio é o aditivo retardador de chamas com mais história, no que toca à formulação de PVC e de outros polímeros que contém cloro. A substância em si é relativamente inerte nos estágios iniciais de um fogo, já que esta sofre sublimação apenas aos 1550°C. No entanto, a substância reage com o Cloreto de Hidrogénio (HCl) e com o cloro a nível atómico, resultantes da degradação do PVC e com o oxigénio presente no ar, formando compostos mais voláteis e potencialmente venenosos na sua fase gasosa [15].

Outro dos aditivos retardadores de chamas mais usados é o trihidrato de alumínio, que atua tanto ao nível da fase gasosa como da sólida. O seu mecanismo de ação passa por vaporizar a água de hidratação do próprio aditivo, cujo calor latente de evaporação irá arrefecer a fase sólida, enquanto que simultaneamente o vapor de água produzido ajuda a dissipar a chama. A evaporação de água deste aditivo começa a uma temperatura de 204°C e progride conforme a temperatura aumenta [15].

O hidróxido de magnésio é outro aditivo retardador de chamas, que funciona de forma similar ao trihidrato de alumínio. Este, no entanto, começa a perder água por evaporação, apenas a uma temperatura de 300°C. Combinações de trihidrato de alumínio e hidróxido de magnésio são usadas para conferir propriedades retardantes de chama de longa duração, quando é necessário cumprir certas especificações [15].

Os supressores de fumo à base de molibdénio atuam alterando a degradação do PVC, de forma a reduzir a produção de vapores aromáticos, que ardem acompanhados de muito fumo. Devido à cor variável destes compostos e consequentemente às suas capacidades de tingimento, não devem ser utilizados em formulações de cores claras, apesar da existência no mercado de algumas soluções para essas formulações [15].

Os plastificantes usados para alterar a flexibilidade do PVC, podem por vezes ter uma dupla função. É nesse âmbito que aqui se incluem os plastificantes com propriedades retardadoras de chamas, isto é, aditivos líquidos ou sólidos, que alteram a flexibilidade do PVC e ao mesmo tempo ardem menos vigorosamente que os plastificantes convencionais [15].

O Borato de Zinco é eficaz como supressor de fumo e retardador de chamas e é geralmente usado em combinação com outros aditivos do mesmo tipo, devido à redução da estabilidade ao calor do PVC causada por elevados níveis deste aditivo. Misturas com trihidrato de alumínio, por exemplo, têm provado ser eficazes na melhoria dessa estabilidade assim como na redução do fumo produzido ou dos produtos aromáticos libertados na combustão do PVC, [15] [16].

Ultimamente tem havido alguns avanços no que toca aos compostos de cobre, que funcionam segundo uma reação química de redução. Estes compostos alteram o padrão de degradação do PVC e promovem a sua carbonização, o que resulta na redução do fumo produzido pelo PVC queimado. Estes compostos têm sido alvo de um trabalho extensivo, já que os compostos de cobre são

normalmente não-tóxicos e com um custo baixo, tornando-os candidatos promissores a supressores de fumo eficazes no PVC [15].

2.3.2. COMPORTAMENTO AO CALOR

Os estabilizadores para a melhoria do comportamento ao calor, são usados principalmente para proteger o polímero das altas temperaturas de processamento. No entanto a sua presença previne a degradação do produto final a longo prazo, devido à ação do calor [17].

O mercado de estabilizadores de calor é praticamente dirigido na sua totalidade para a formulação de PVC e estes podem ser de quatro tipos: chumbo, estanho, metais mistos e orgânicos. Os estabilizadores à base de chumbo, outrora vastamente usados, perderam grande parte do mercado devido a imposições regulamentares, fruto do grande impacto ambiental que é reconhecido ao chumbo [17].

Em termos de PVC flexível, os estabilizadores mais utilizados são à base de metais mistos como Bário/Zinco (Br/Zn), Cálcio/Zinco (Ca/Zn) ou Bário/Cádmio (Ba/Cd). A maior preocupação neste tipo de PVC, particularmente para revestimentos de piso e de paredes, é a sua volatilidade. Neste campo, já existem vários estabilizadores à base de metais mistos que conseguem atingir valores muito baixos de compostos voláteis orgânicos, tanto no processamento como no produto final. Novos estabilizadores têm também níveis baixos de fenois e compostos fenólicos, que são uma preocupação em aplicações interiores, de forma a melhorar a qualidade do ar interior [17].

No PVC rígido, devido às temperaturas a que é sujeito aquando o seu processamento, requer estabilizadores de calor mais eficazes. No caso da América do Norte, os estabilizadores mais utilizados são os à base de estanho. Alguns como os mercaptanos de estanho, oferecem uma grande estabilidade ao calor, mas pouca estabilidade à luz, sendo necessária uma mistura com estabilizadores para esse efeito. Pode-se no entanto usar outros estabilizadores, como o maleato de estanho, que oferecem uma melhor estabilidade à luz (dispensando estabilizadores adicionais), mas diminuindo a estabilidade ao calor. Na Europa os estabilizadores à base de estanho apenas são utilizados em nichos de mercado, como em peças claras, devido ao comportamento à luz destes estabilizadores. A Europa tem vindo a substituir, no fabrico de caixilharias para janelas e portas, os estabilizadores à base de chumbo pelos estabilizadores de metais mistos, já que os estabilizadores orgânicos não cumprem os requisitos de degradação desejados [17].

Em certos produtos, uma camada de cobertura de PVC com altos níveis de estabilizadores à base de estanho é coextrudida sobre a peça base de PVC que contém baixos níveis desses estabilizadores. Outra solução alternativa é o uso de uma capa protetora de um material acrílico ou de uma liga de PVC-acrílico. Estas capas protetoras são normalmente usadas para peças de cores escuras, em mercados mais exclusivos, devido ao preço desta solução [17].

Também no mercado dos compostos de madeira e PVC (WPC), têm existido avanços na criação de estabilizadores com e sem chumbo exclusivos para este tipo de peças [17].

2.3.3. COMPORTAMENTO À LUZ

Ao contrário dos estabilizadores de calor, o fabrico de PVC apenas consome cerca de 6% do mercado total de estabilizadores de luz. Os absorventes de radiação UV de benzofenona são os mais usados no PVC, seguidos pelos de benzotriazole. Estes estabilizadores são usados principalmente no fabrico de PVC flexível [17].

Tem havido, principalmente pela parte de produtores de membranas para coberturas (que é uma das mais exigentes aplicações de PVC flexível), um interesse em aumentar a performance e durabilidade do PVC para além daquilo que é possível com os tradicionais estabilizadores de luz (UVA's). Apesar de existirem estabilizadores capazes dessa performance, como os absorventes de radicais livres, conhecidos como HALS (sigla para *Hindered Amine Light Stabilizers*), estes são básicos, sendo portanto incompatíveis com a alta acidez do PVC. No entanto, há avanços no que toca à criação de estabilizadores não-básicos, que funcionam extremamente bem em ambientes ácidos. Testes sugerem que estes novos estabilizadores dão uma melhor durabilidade do que o dobro da concentração de um UVA e alguns já são usados no mercado de membranas para coberturas [17].

No PVC rígido, além dos estabilizadores já referidos, é usado também o Dióxido de Titânio, que atua como um bloqueador de luz ultravioleta devido à sua opacidade. Este apenas pode ser usado em peças claras e é normalmente usado como complemento para estabilizadores de calor com pouca capacidade para resistir à luz [17].

2.4. MELHORIAS DO COMPORTAMENTO MECÂNICO

De forma a melhorar o comportamento mecânico do PVC, tem-se procurado substâncias ou aditivos que adicionados na fase de formulação permitam um aumento de certas qualidades específicas.

Nos últimos anos, o uso de fibras naturais como agente de reforço no fabrico de PVC tem atraído a atenção de diversos investigadores. As fibras naturais podem ser obtidas de diferentes formas, estão disponíveis em grande quantidade, têm baixo peso, são baratas e podem ser adicionadas em quantidades consideráveis na formulação do composto, oferecendo assim soluções economicamente atrativas. Estas podem ser usadas sob a forma de partículas, fibras agrupadas ou fibras individuais e podem atuar como reforço ou apenas como ou aditivo de carga (enchimento) [18].

Uma das fibras mais usadas no mercado dos termoplásticos é a farinha de madeira, que é produzida a partir de resíduos industriais como serradura e restos de madeira aplainada. Os restos de madeira são selecionados por tipo de espécie e depois moídos em tamanhos de partículas especificamente determinados. Em geral a farinha de madeira é usada como enchimento para plásticos, o que tende a aumentar a rigidez do composto, mas não a sua resistência. Outro tipo de fibras naturais podem ser usadas como reforço em vez de enchimento, resultando num aumento tanto da rigidez como da resistência do composto. De notar que num comprimento crítico das fibras, as tensões são transferidas da matriz de PVC para as fibras adicionadas, resultando num composto mais resistente, [19] [20].

As fibras naturais foram usadas inicialmente apenas para redução de custos e reaproveitamento de material que de outra forma seria desperdiçado, mas recentemente o paradigma mudou e essas fibras são agora usadas preferencialmente como material de reforço em polímeros, existindo um mercado extenso de aplicações deste tipo de composto. No entanto as suas aplicações em termos estruturais e no mercado da construção são ainda questionáveis devido às limitações de resistência dos compostos [21].

Para ultrapassar essas limitações, têm havido diversas soluções propostas desde a adição de fibras sintéticas, reforços metálicos ou seleção de técnicas de processamento adequadas dos compostos [22]. A hibridização, isto é a combinação de diferentes tipos de fibras numa só formulação, é também uma solução para ultrapassar as referidas limitações, já que a variação dos comprimentos e diâmetros das diferentes fibras podem oferecer melhores resultados do que a incorporação de uma só fibra, [23] [24].

Atualmente o PVC é um dos materiais termoplásticos mais atrativos para a formação destes compostos, devido às distintas vantagens de performance oferecidas. A resistência e o módulo à flexão

assim como a resistência à fluência, ao desgaste e ao fogo dos compostos de madeira e PVC são superiores aos oferecidos pela mistura de fibras com outros termoplásticos como polipropileno ou polietileno [25].

De referir que a adição de fibra de celulose em vez de farinha de madeira, faz aumentar as propriedades mecânicas, como a resistência à tração, flexão e impacto. No entanto podem existir problemas a nível de processamento relacionados com a medição e adição de materiais celulósicos de baixa densidade (em determinadas fibras), o que tem limitado o seu uso em altos teores no fabrico de compostos, já que as melhorias começam a ser notadas com cerca de 40% do peso do composto em fibras. Assim, dependendo do produto final, o composto deve ser otimizado para resistência ou preço, ajustando tanto o tipo de fibras (farinha de madeira, outras fibras ou a sua combinação) como o seu teor na mistura [22].

2.5. RECICLAGEM DO PVC

Sendo o PVC um dos termoplásticos mais utilizados no mundo, é natural que grandes quantidades de resíduos se formem após o fim da vida útil dos produtos. A discussão pública acerca do destino do PVC usado tem ganho uma crescente importância, devido ao rápido crescimento de resíduos plásticos nos últimos anos e à sua acumulação em aterros. Apesar de tudo, os aterros, são vistos cada vez mais como a última opção para a alocação de resíduos [26].

A recuperação energética por via de incineração é outra maneira de tratar os resíduos sólidos urbanos (RSU's). No entanto, a contestação da parte dos ambientalistas, nomeadamente quanto às emissões tóxicas derivadas de equipamento inadequado ou de condições de incineração inapropriadas, tem criado uma resistência do público a estas técnicas. Especialmente no caso do PVC, a incineração está ligada a alguns problemas tecnológicos devido ao alto teor de cloro presente no polímero, o que faz com que grandes quantidades de cloreto de hidrogénio (HCl) seja libertado na atmosfera aquando da sua decomposição, além da possibilidade de formação de dioxinas tóxicas e furanos. Assim, a expansão desta solução implica um grande investimento nas instalações de incineração, de forma a poder corrigir os problemas tecnológicos apresentados [26].

Em termos de reciclagem, podem-se distinguir dois tipos: reciclagem química e mecânica. A reciclagem química é baseada no conceito de converter polímeros em químicos de cadeia curta (p.ex. monómeros) para a sua reutilização em processos de polimerização ou outros processos químicos e pode ser efetuada por quatro processos: fissuração, gaseificação, hidrogenação e pirólise [26].

A reciclagem mecânica já é usada há largos anos na indústria dos plásticos e é preferivelmente usada quando existe alguma homogeneidade nos polímeros presentes nos resíduos. O processo consiste em cinco etapas: a separação manual ou automatizada dos vários plásticos, a moagem em pequenos pedaços, a lavagem, a fusão e a moldagem em peças passíveis de serem utilizáveis para a fabricação de novos produtos plásticos [27].

No quadro 2 apresentam-se os diferentes tipos de processamento pós-uso possíveis e uma breve comparação entre os pontos fracos e fortes de cada um.

Quadro 2 – Comparação dos métodos de processamento pós-uso do PVC [27]

| Método de processamento | Sensibilidade a impurezas | Produção de poluição | Custo | Produto(s) reciclado(s) | Quantidade mundial de locais em funcionamento | Aceitação internacional na última década (especialmente nos países desenvolvidos) |
|-------------------------|---------------------------|----------------------|-----------------|--------------------------|---|---|
| Aterros | Nenhuma | Muito alta | Baixo | Sem material reciclado | Grande | Não aceitável |
| Incineração | Por norma nenhuma | Muito alta | Por norma baixo | Energia | Grande | Não aceitável |
| Reciclagem Mecânica | Altamente sensível | Baixa | Médio | PVC | Média | Grande aceitação |
| Reciclagem Química | Relativamente sensível | Por norma baixa | Por norma alto | Diversas matérias-primas | Pequena | Pequena aceitação |

Podemos retirar do quadro que a reciclagem mecânica é aquela que junta mais pontos positivos, tendo no entanto algumas condicionantes: a qualidade e o custo da separação e transformação do material reciclável, o seu volume disponível e a sua heterogeneidade, no que respeita ao tipo de plástico. Esta heterogeneidade dá origem a uma matéria que será mais difícil de processar e/ou terá propriedades mecânicas e físicas inferiores ao material na sua forma pura. Existem no entanto diferentes técnicas de separação de modo a melhorar a qualidade do material reciclável e tornar todo o processo mais eficaz [27].

3

CAIXILHARIAS EM PVC

3.1. ENQUADRAMENTO GERAL

3.1.1. DEFINIÇÃO

A caixilharia é um elemento que faz o suporte para uma qualquer solução de preenchimento de um vão (portas ou janelas), que pode ou não, ser envidraçado. A sua principal função é fazer a ligação entre os elementos estruturais envolventes da forma mais homogénea possível, a nível térmico, acústico e de ventilação. Ou seja, o objetivo da caixilharia é controlar a passagem de vários agentes, na ligação aos elementos estruturais, nomeadamente ar, água, calor, fogo, entre outros, [28] [29].



Fig.7 – Solução de caixilharia em PVC [30]

3.1.2. MERCADO

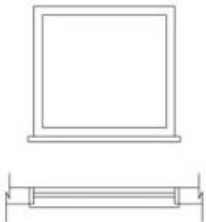
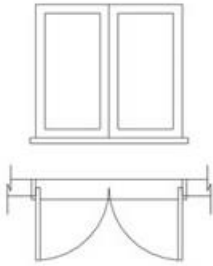
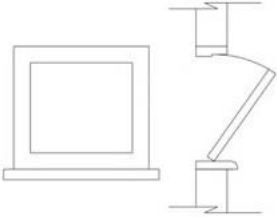
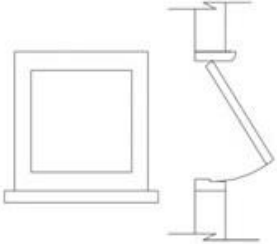
A comercialização de caixilharias sintéticas iniciou-se na Alemanha Ocidental, entre os anos 1955 e 1960, no entanto a sua utilização era ainda reduzida (apenas cerca de 5% do mercado utilizava o PVC em caixilharias), devido à lenta adaptação da nova aplicação do material. Na década de 70, devido ao aumento da produção industrial de PVC, o seu consumo no mercado de caixilharias já atingia à volta dos 45%, sendo que o seu uso já era comum em toda a Europa e Estados Unidos, sempre conseguindo fatias significativas dos mercados locais, [28] [29].

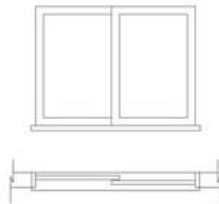
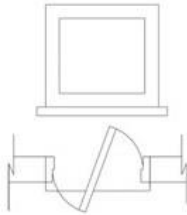
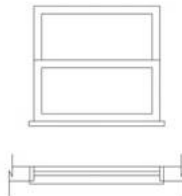

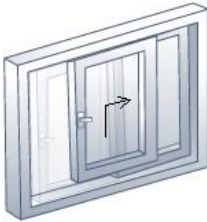
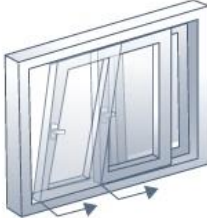
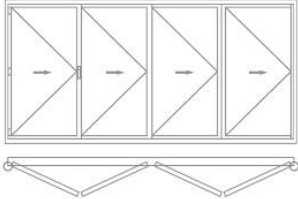
Mais recentemente, segundo dados da Asociación de Ventanas de PVC (ASOVEN) relativamente a 2013, a média europeia do consumo de caixilharias em PVC aponta para cerca de 56% do mercado de caixilharias, sendo que Rússia (85%), Polónia (80%), Eslovénia (80%) e Alemanha (70%) são as que mais consomem nos mercados locais [31]. Os números da ASOVEN, que são publicados anualmente, apontam para um crescimento do consumo europeu de caixilharias de PVC no período entre 2007 e 2013, na ordem dos 10%, [31] [32].

3.1.3. TIPOLOGIAS DE CAIXILHARIA

Os sistemas de caixilharia podem ser classificados de acordo com o tipo de movimento permitido pelas suas folhas. No quadro 3 apresentam-se os tipos de movimentos mais comuns no mercado de caixilharias.

Quadro 3 – Tipos de movimentos da caixilharia mais comuns [33] (adaptado)

| Tipo | Características | Esquema |
|------------|--|--|
| Fixa | Corresponde a um caixilho que não permite qualquer tipo de movimento de abertura |  |
| Batente | É formada por uma ou mais folhas que se movimentam mediante a rotação em torno de eixos verticais fixos coincidentes com as partes laterais das folhas |  |
| Basculante | Possui uma ou mais folhas que podem ser movimentadas por rotação em torno de um eixo horizontal fixo, situado na extremidade inferior da folha |  |
| Projetante | Possui uma ou mais folhas que podem ser movimentadas por rotação em torno de um eixo horizontal fixo, situado na extremidade superior da folha |  |

| Tipo | Características | Esquema |
|------------------------------------|---|---|
| De correr | Possui uma ou mais folhas que se movimentam por deslizamento horizontal no plano da folha |  |
| Pivotante (horizontal ou vertical) | Possui uma ou mais folhas que são movimentadas por rotação em torno de um eixo horizontal ou vertical fixo coincidente com o centro geométrico da folha |  |
| Guilhotina | É constituída por uma ou mais folhas que se movimentam por deslizamento vertical no plano da folha |  |
| Oscilo-batente | Possui uma ou mais folhas que podem ser movimentadas tanto em torno do eixo vertical como do horizontal, coincidentes com a parte lateral e a extremidade inferior da folha, respetivamente |  |
| Corredora-elevadora | Possui uma ou mais folhas que primeiro realizam um movimento de subida e posteriormente movimentam-se por deslizamento horizontal no plano da folha |  |
| Oscilo-paralela de correr | Possui uma parte fixa e uma parte móvel. A parte móvel desloca-se no caixilho correndo através de uma calha inferior sobre a parte fixa. Permite ainda o movimento basculante de abertura |  |
| Harmónio | É constituída por duas ou mais folhas que se dobram sobre si mesmas enquanto deslizam horizontalmente no plano da folha |  |

3.1.4. COMPONENTES

Na figura 8 podemos observar um diagrama de um perfil de PVC e a disposição dos seus principais componentes. Um caixilho-tipo de PVC é constituído pelos seguintes componentes: junta da vidraça (A), cunha da vidraça (B), goteira (C), reforço metálico (D), câmara de drenagem (E), junta exterior do caixilho (F), ranhura (G), tampa de drenagem (H), fixação de perfis auxiliares (I), vidro (J), filetes/bites de envidraçamento (K), cunha da vidraça (L), folha móvel (M), câmara de reforço (N), canal da ferragem (O), junta interior da folha (P), caixilhos (Q), correspondendo cada letra aos elementos marcados na figura 8.

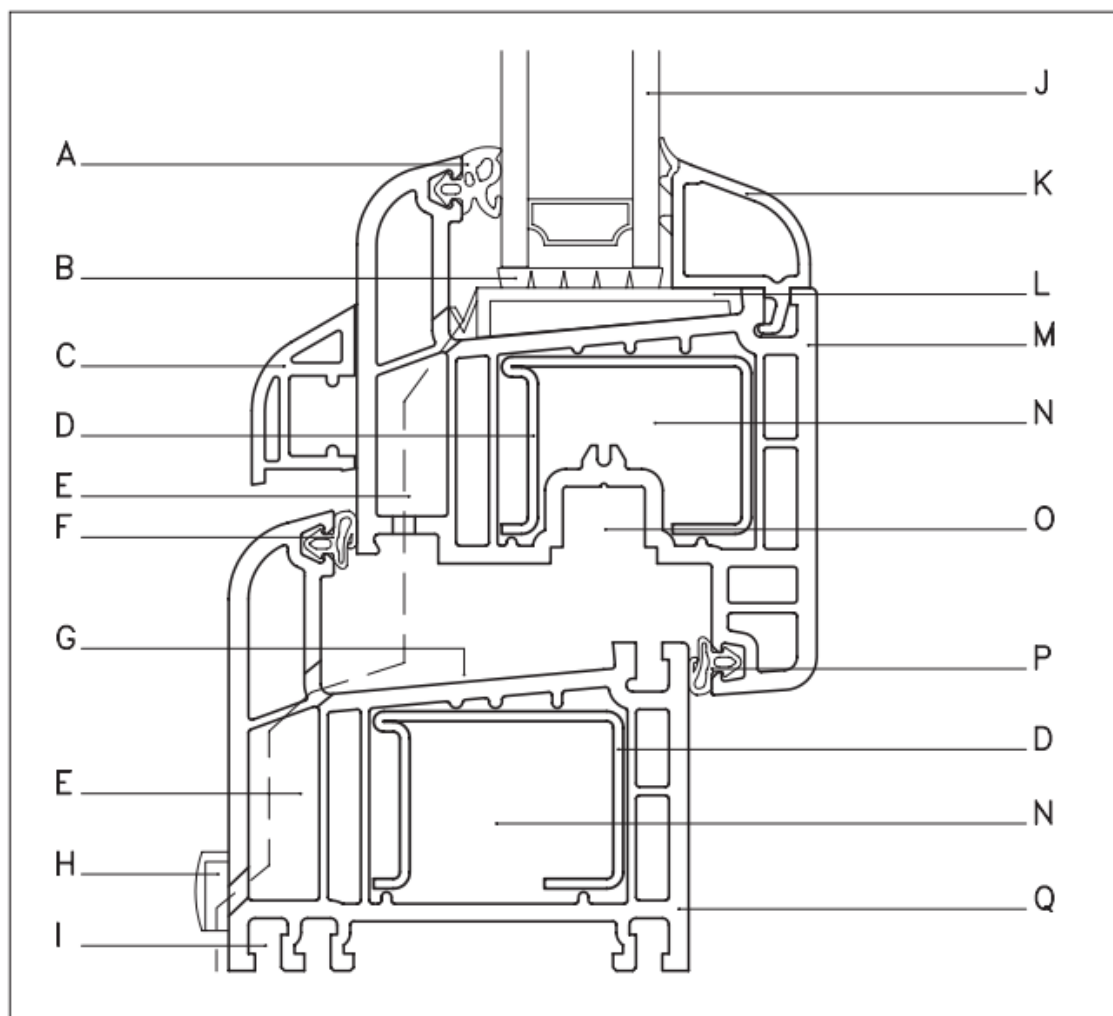


Fig.8 – Diagrama de um perfil de PVC [34]

3.2. PROCESSO DE FABRICO

3.2.1. FORMULAÇÃO

As caixilharias são compostas por perfis de PVC-U e a qualidade do material depende essencialmente da formulação deste, como já foi referido. Especificamente para a produção de perfis para caixilharias, os aditivos mais usados são os modificadores de impacto, estabilizadores e lubrificantes, de forma a aumentar a resistência a impactos, a estabilidade dimensional, a processabilidade no fabrico e a resistência a agentes atmosféricos, biológicos ou químicos. Esta formulação varia entre os diferentes

fabricantes, conforme queiram aumentar ou diminuir certas propriedades, sendo que outros tipos de aditivos podem ser usados, como por exemplo corantes [34].

3.2.2. FABRICAÇÃO DOS PERFIS

Após a formulação e homogeneização da mistura, esta é levada até às extrusoras. Cada caixilho é produzido a partir de secções de perfil, que são cortadas e unidas com a sua forma final. Essas secções são formadas nas extrusoras, que no fundo fazem passar a mistura por fusos helicoidais, onde é aquecida, fundida, desgaseificada e comprimida a baixas pressões, forçando-a a atravessar um molde, designado por fileira, com o formato do perfil pretendido. À saída da fileira, o perfil é estirado através de um calibrador de vácuo e refrigerado com água, tornando-o cada vez mais sólido, ao longo do calibrador, no qual se conferem ao perfil as suas medidas definitivas. A planicidade, perpendicularidade e linearidade do perfil são garantidas pelas características de design do perfil, assim como do molde utilizado. Existe ainda uma técnica especial de alguns fabricantes, chamada extrusão múltipla ou coextrusão, que permite produzir perfis a partir de várias utilizações de material, por exemplo para produzir perfis bicolores ou introduzir material reciclado em partes ocultas do perfil. A etapa seguinte corresponde ao corte dos perfis, que saem de forma contínua da instalação. O corte é executado por serras circulares à medida desejada, aproveitando ao máximo o comprimento do perfil, normalmente de 6 metros [34].



Fig.9 – Perfis de PVC prontos para a montagem da caixilharia [35]

3.2.3. FABRICAÇÃO DO CAIXILHO

Neste momento os perfis estão prontos para a montagem do caixilho. Estes irão ser armazenados, tendo alguns cuidados, nomeadamente com as temperaturas e com o seu apoio, para evitar empenamentos e deformações. Cada fabricante é que determina os processos que acha mais adequados ao armazenamento dos perfis. Nesta fase, os perfis irão ser sujeitos a outra operação de corte, neste caso para obter as dimensões finais da janela. Devem-se utilizar para este corte, serras pivotantes e serras de duas cabeças para cortes angulares. A precisão deste corte irá ter influência direta nas dimensões e na funcionalidade do caixilho e por isso é necessário um controlo rigoroso no que respeita a dimensões e ângulos dos cortes. Após o corte final, são feitas as ranhuras para drenagem de água no interior do perfil, compensação de pressão e colocação de ferragens e acessórios (roldanas, fechos, puxadores, etc.). Podem ser adicionados reforços em aço galvanizado, introduzidos em câmaras

apropriadas dos perfis, de forma a garantir a resistência adequada do caixilho. As ranhuras de escoamento ou ventilação devem também comunicar com esta câmara, para garantir essas funções neste espaço. Os reforços são cortados previamente, com a medida adequada, isto é ligeiramente menores que o perfil original, de modo a que a operação de soldagem possa ocorrer sem interferências, e devem ser fixados com parafusos auto-perfurantes [34].

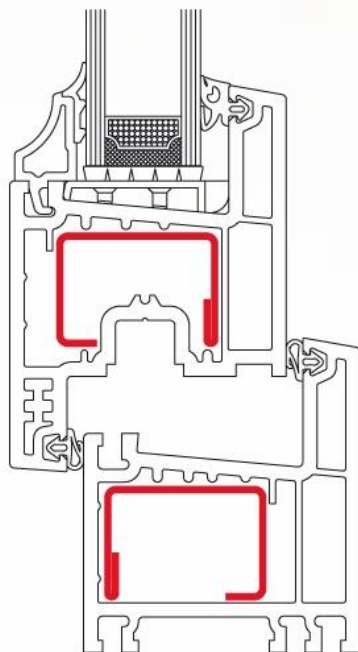


Fig.10 – Pormenor de reforços no interior do caixilho [36]

A operação seguinte é a soldadura: esta é levada a cabo por fusão das peças, aplicando uma pressão quando estas estão em estado plástico, verificando-se assim que as partes onde houve derretimento estão coladas e perfeitamente unidas, formando uma peça única. A qualidade da soldagem é influenciada pela temperatura aplicada aos perfis, pela pressão exercida nas peças e pelo tempo de soldagem. Para garantir um acabamento adequado é efetuada, com brocas e lâminas adaptadas ao perfil, uma limpeza dos ângulos soldados, retirando as sobras da solda [34].

Em seguida são colocadas as juntas de estanquidade, selecionam-se e colocam-se as ferragens de acordo com o tipo de abertura e procede-se à montagem das folhas. Neste momento a caixilharia está pronta para receber o(s) vidro(s). Os caixilhos saem da fábrica com o acabamento completo, já que deve ser planeado antecipadamente aquando da formulação do PVC, apesar de existirem outros processos como o folheado que permite imitar um acabamento em madeira [34].

No transporte para a obra é necessário manter os caixilhos na posição vertical, com suportes adequados que o mantenham livre de golpes e quedas. O produto acabado deverá ser disposto também na vertical, convenientemente embalado e de forma que exista ventilação entre os vidros [34].

3.3. MONTAGEM DO CAIXILHO

3.3.1. REQUISITOS BÁSICOS DE MONTAGEM

De forma a garantir a conveniente montagem do caixilho, deve-se assegurar alguns requisitos básicos de montagem [34]:

- Verificar a resistência mecânica a cargas, choques, dilatações diferenciais e manobras dos próprios caixilhos que venham definidas no projeto do edifício;
- Verificar a compatibilidade, tanto química como elétrica entre os materiais empregues na montagem, com especial atenção para todos aqueles que possam provocar a deterioração do caixilho e dos seus componentes;
- Conferir a total estanqueidade ao ar e à água, com especial atenção à parte inferior dos caixilhos e aros, e do isolamento entre estes;
- Garantir que o sistema de colocação não diminuirá as prestações acústicas ou térmicas do caixilho, nem da abertura recetora do mesmo;
- Garantir que o material de união entre os caixilhos e os aros terão a elasticidade suficiente para não transmitir vibrações entre a estrutura e a caixilharia.

3.3.2. TOLERÂNCIA DOS MATERIAIS E MONTAGEM

Quando a colocação é realizada num plano verticalmente paralelo à fachada, as tolerâncias serão [34]:

- Para a planimetria do caixilho ou aro: uma flecha inferior ou igual a 3 milímetros (para perfis com mais de dois metros) e inferior ou igual a 2 milímetros (para perfis com dois metros ou menores);
- Quanto ao desajustamento: a diferença de comprimento entre as duas diagonais não deverá ser superior a 5 milímetros (para perfis superiores a dois metros) e a 3 milímetros (para perfis de dois metros ou menores);
- Quanto à distância entre o caixilho e o aro: em qualquer ponto do perímetro entre o caixilho e o aro, a folga deverá ser inferior a 15 milímetros.

3.3.3. COLOCAÇÃO EM OBRA

Em primeiro lugar procede-se à colocação e nivelamento do caixilho com o auxílio de calços, verificando se é respeitada a tolerância quanto ao desajustamento. Em seguida procede-se à fixação à parede, que pode ser feita de várias formas. Em geral, existem dois grandes métodos: mediante grampos ou através de parafusos. Existem ainda outros métodos: através da colocação de aros metálicos ou de madeira ou um método especialmente dedicado a renovações de caixilharia. O método através de parafusos é mais recomendável sempre que o caixilho seja colocado no alinhamento do eixo central da abertura ao invés de pelo interior ou exterior, devido à dificuldade de colocar grampos nessa posição [37].

Antes de aplicar qualquer método é necessário definir o número e local das fixações. A quantidade depende em grande medida das dimensões da janela e das características próprias da obra mas deve-se enquadrar o mais possível na seguinte regra geral: fixações de 150/200 milímetros dos cantos ou das uniões com réguas e com travessas. A partir daqui, o espaço entre fixações não deverá exceder os 600/700 milímetros [37], como ilustrado na figura 11.

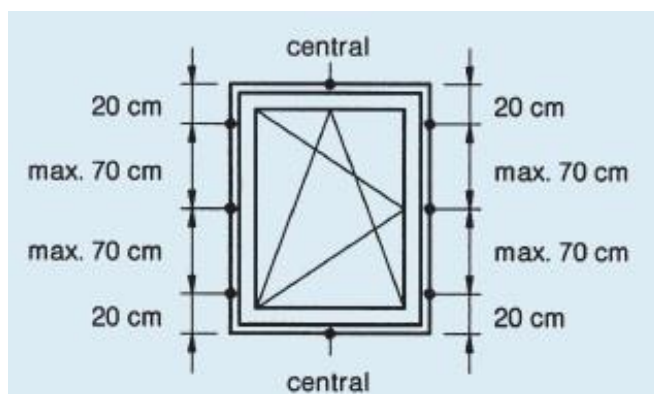


Fig.11 – Localização das fixações [37]

3.3.3.1. Fixação com Grampos

A fixação com grampos é, por norma, utilizada em vãos de obras em execução, não totalmente rematados. O sistema caracteriza-se pela utilização de peças metálicas retangulares para facilitar a sua aderência à construção, que são depois aparafusados ao caixilho. Estes devem ter comprimento suficiente para ficarem presos na parede ao ser aplicada a massa. A furação para entrada dos grampos deve ser efetuada ainda antes da colocação e nivelamento do caixilho e deve ter folga suficiente para permitir a entrada dos grampos. Uma vez colocado o caixilho, introduzem-se os grampos nos furos e fixam-se à estrutura com argamassa [37].

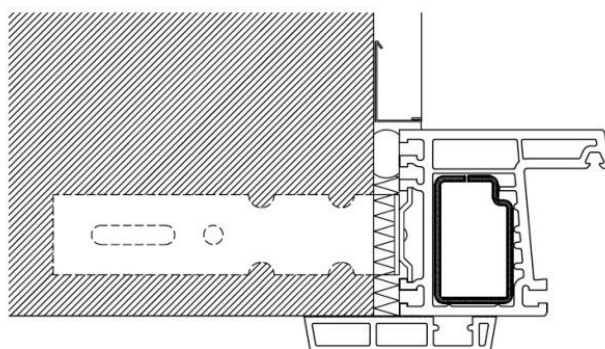


Fig.12 – Fixação com grampos [37]

3.3.3.2. Fixação com Parafusos

Podemos também utilizar o segundo método mencionado, fixando o caixilho mediante parafusos com buchas expansoras ou parafusos especialmente concebidos para serem introduzidos na parede maciça. Há que ter cuidado, quando o caixilho está alinhado pelo interior ou exterior, para não danificar o reboco acabado pela expansão da bucha, devendo nestes casos a furação ser efetuada com um certo ângulo, de modo a evitar o desprendimento de material. O furo é feito na parede com uma broca. Uma bucha é introduzida no buraco e aí então o parafuso irá ser introduzido, o que alargará a bucha até ficar bem fixo. O remate do parafuso pode ser feito de duas maneiras: com o parafuso visível na ranhura, ou apenas atravessar o perfil em PVC, até chegar ao reforço [37].

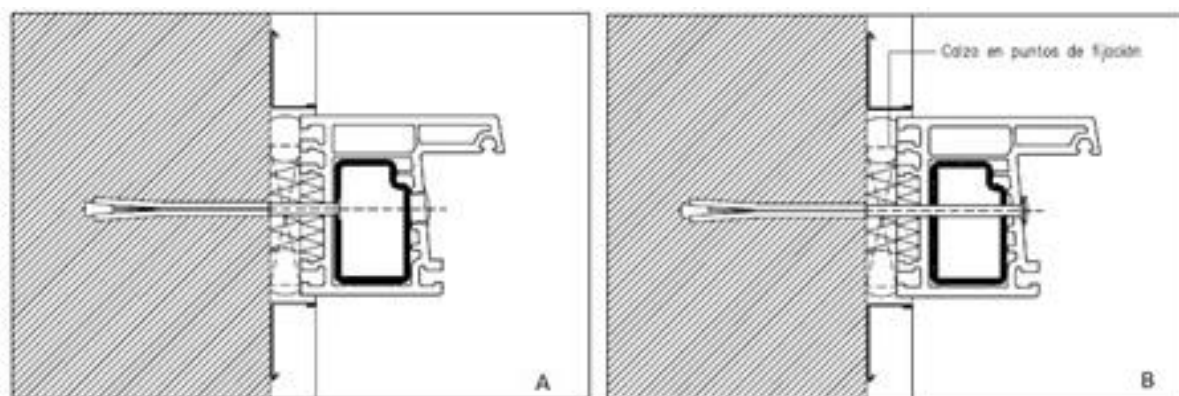


Fig.13 – A: Remate com parafuso até ao reforço; B: Remate com parafuso visível na ranhura [37]

3.3.3.3. Fixação com Aros (Pré-Aros)

A fixação mediante colocação de aros metálicos ou de madeira é indicada para vãos onde se tenha muita dificuldade de regularização. Primeiramente é colocado apenas o aro com grampos de encaixe já incorporados e em seguida o caixilho irá ser fixado através de parafusos. Este acoplamento deve ser feito de forma que os fatores de dilatação diferencial dos dois materiais não provoquem sobre a ligação pressões que possam causar empenamentos ou desajustes. Para isso, utilizam-se esquadros, tensores e conformadores adequados para manter a invariabilidade dos ângulos quando o aro por si só tenha rigidez suficiente [37].

A secção do aro deve ser também suficiente para facilitar o encaixe na parede, bem como uma adequada superfície para a colocação do caixilho. Essas secções devem cumprir os seguintes limites [34]:

- Aros em madeira: secção mínima de 35x35 milímetros;
- Aros em aço: espessura da chapa não inferior a 1 milímetro;
- Aros em alumínio: espessura da chapa não inferior a 1,5 milímetros.

3.3.3.4. Fixação em Renovações

Existe ainda outro método que é aplicado quando se procede à renovação de caixilhos antigos, que é um caso especial em que esse funciona como aro da caixilharia nova. Deverá ser verificado o estado de conservação da parte antiga (ferro não oxidado, madeira não carcomida, etc.) e se a sua fixação na parede é resistente. O caixilho antigo será reduzido ou complementado onde for preciso, assegurando que a base horizontal fique nivelada. Em seguida procede-se da mesma forma indicada na instalação mediante colocação de aros, [34] [37].

3.3.3.5. Selagem, Vidros e Acabamentos

Após a colocação dos caixilhos será necessário proceder ao enchimento da junta janela-parede, que é habitualmente feito com espuma de poliuretano. É importante eliminar os excessos e deixar a zona limpa para facilitar as tarefas posteriores de colocação de silicone isolante ou de tapa-juntas [37].

Em seguida são colocados os vidros: estes são colocados com o apoio de calços de material sintético, para transmitir o peso do vidro ao caixilho, além de calços perimetrais para manter a correta posição

do vidro e evitar possíveis deslocamentos laterais. Os fabricantes fornecem normalmente a posição mais correta dos calços para cada forma de abertura da janela e é fundamental seguir as recomendações para garantir uma boa abertura e fecho do mecanismo. O aperto do vidro ao caixilho é conseguido mediante pequenas calhas com juntas de neoprene e não se utilizam betumes nem silicones no envidraçamento de caixilhos em PVC (envidraçamento “a seco”) [37].

No final faz-se a selagem da junta exterior janela-parede com silicone neutro e executam-se os acabamentos. Entre os acabamentos mais comuns distinguem-se os tapa-juntas, os angulares e os peitoris [37].

3.4. AVALIAÇÃO EXIGENCIAL

3.4.1. EXIGÊNCIAS DE DESEMPENHO

Para podermos avaliar o desempenho de um qualquer sistema construtivo há que avaliar alguns aspetos funcionais e definir exigências, que assim podem determinar de forma quantitativa ou qualitativa, se esse mesmo sistema tem o comportamento adequado para a situação para a qual foi projetado. As caixilharias têm portanto uma série de exigências que terão de ser verificadas para avaliar o desempenho da mesma, que serão em seguida apresentados.

3.4.1.1. Resistência Estrutural

A caixilharia deve apresentar estabilidade e resistência às cargas sobre ela atuantes, durante a sua vida útil. É exigível que essas cargas sejam absorvidas pelo caixilho, sem que ocorram deformações ou empenamentos [29].

3.4.1.2. Resistência ao Vento

A ação do vento sobre a caixilharia pode originar deformações que podem por em causa a integridade do sistema, podendo romper algumas ligações ou criar folgas. O sistema de caixilharia deve ser portanto resistente, estável e funcional quando submetido a essas ações. É importante garantir a rigidez e resistência dos elementos, adequadas às solicitações (perfis, vidros e ferragens) e a construção sólida dos sistemas de caixilharia (ligação entre elementos e fixação da caixilharia ao vão adequadas). As deformações no caixilho serão menores quanto maior a resistência ao vento e consequentemente maior a sua durabilidade, [29] [38].

3.4.1.3. Resistência ao Choque de Corpos Sólidos

A caixilharia deve apresentar alguma resistência a possíveis choques de corpos sólidos durante a sua utilização. Pode haver degradação sob ação desses choques, mas a sua degradação eventual não deve colocar em causa a segurança das pessoas (não estando na origem do choque) seja pela queda de estilhaços contundentes ou cortantes ou de elementos que possam ferir severamente essas pessoas. Como elemento mais vulnerável do sistema de caixilharia, os vidros devem ser alvo de especial atenção neste campo, sendo dimensionados para resistir às tensões geradas no impacto devido ao choque. Também a escolha do tipo de vidro é importante: os vidros temperados e laminados, por exemplo, apresentam um comportamento de resistência ao choque e segurança, após quebra, bastante satisfatórios e são até usados como proteção contra balas, dependendo das suas espessuras e arranjos, [39] [40].

3.4.1.4. Resistência ao Fogo

A resistência ao fogo de um dado material ou sistema, determina a sua capacidade de se opor ao fogo. De acordo com o Decreto-Lei n.º 220/2008 [41], a classificação de desempenho de resistência ao fogo padrão para produtos de construção depende, para portas e elementos envidraçados, de três parâmetros: Estanquidade a chamas e gases quentes (E), Isolamento térmico (I) e Radiação (W) e existem três classificações possíveis: E, EI e EW. A classificação é ainda complementada, dotando-a de um número que pode ir de 15 a 120 minutos para elementos envidraçados e de 15 a 240 minutos no caso de portas e que representa o tempo máximo em minutos que o sistema consegue garantir os parâmetros mencionados [41].

3.4.1.5. Reação ao Fogo

A reação ao fogo dos materiais de construção qualifica a sua suscetibilidade de se inflamar e alimentar o fogo. O Decreto-Lei mencionado no ponto anterior prevê, para produtos de construção exceto pavimentos, classes de desempenho de reação ao fogo baseadas em fatores de classificação. Os ensaios que determinam os fatores estão abrangidos pela norma europeia EN 13501-1 [42]. Apresentam-se nos seguintes quadros as classes de reação, assim como a definição da classificação complementar e a definição dos fatores de classificação, [28] [41] [43]. Na figura 6 encontra-se uma listagem para auxílio à leitura dos fatores de classificação dos quadros 4 e 5.

Quadro 4 – Classes de reação ao fogo para produtos de construção, excluindo pavimentos, [28] [41] [43]

| Classe | Normas dos ensaios a realizar | Fatores de Classificação | Classificação complementar |
|--------|--|---|--|
| A1 | EN ISO 1182 [44] e EN ISO 1716 [45] | $\Delta T \leq 30^\circ\text{C}$, $\Delta m \leq 50\%$, $t_f = 0$ e $\text{PCS} = 2,0 \text{ MJ.Kg}^{-1}$ | - |
| A2 | EN ISO 1182 [44] ou EN ISO 1716 [45] e EN 13823 [46] | $\Delta T \leq 50^\circ\text{C}$, $\Delta m \leq 50\%$, $t_f = 20\text{s}$, $\text{PCS} = 3,0 \text{ MJ.Kg}^{-1}$ FIGRA=120 W.s^{-1} , LFS<bordo do provete e $\text{THR}_{600\text{s}} = 7,5 \text{ MJ}$ | «s1, s2 ou s3» e «d0, d1 ou d2» |
| B | EN 13823 [46] e EN ISO 11925-2 [47] | FIGRA=120 W.s^{-1} , LFS<bordo do provete, $\text{THR}_{600\text{s}} = 7,5 \text{ MJ}$ e $F_s = 150 \text{ mm}$ em 60 seg. | «s1, s2 ou s3» e «d0, d1 ou d2» |
| C | EN 13823 [46] e EN ISO 11925-2 [47] | FIGRA=250 W.s^{-1} , LFS<bordo do provete, $\text{THR}_{600\text{s}} = 15 \text{ MJ}$ e $F_s = 150 \text{ mm}$ em 60 seg. | «s1, s2 ou s3» e «d0, d1 ou d2» |
| D | EN 13823 [46] e EN ISO 11925-2 [47] | FIGRA=750 W.s^{-1} e $F_s = 150 \text{ mm}$ em 60 seg. | «s1, s2 ou s3» e «d0, d1 ou d2» |
| E | EN ISO 11925-2 [47] | $F_s = 150 \text{ mm}$ em 60 seg. | Gotículas ou partículas incandescentes «aprovação ou reprovação» |
| F | Desempenho não determinado | | |

Quadro 5 – Definição da classificação complementar [28]

| Classificações complementares | Níveis de classificação | | |
|--------------------------------|--|--|-------------------------------------|
| Produção de fumos | s1 | s2 | s3 |
| | Pouca Opacidade – SMOGRA=30 m ² .s ⁻² e TSP _{600s} =50 m ² | Opacidade – SMOGRA=180 m ² .s ⁻² e TSP _{600s} =200 m ² | Muita Opacidade – Nem s1, nem s2 |
| Gotas ou Partículas Inflamadas | d0 | d1 | d2 |
| | Não se verifica libertação em 600 s. | Não se verifica libertação durante mais de 10 s. em 600 s. | Nem d0, nem d1; ignição |

Quadro 6 – Designação dos fatores de classificação [41]

| Simbologia | Designação (unidades) |
|---------------------|--|
| ΔT | Aumento de temperatura (°C) |
| Δm | Perda de massa (%) |
| t_f | Tempo de presença da chama «duração das chamas persistentes» (s) |
| PCS | Poder calorífico superior (MJ.Kg ⁻¹ , MJ.Kg ⁻² ou MJ.m ⁻² , consoante os casos) |
| FIGRA | Taxa de propagação do fogo (W.s ⁻¹) |
| THR _{600s} | Calor total libertado em 600 segundos (MJ) |
| LFS | Propagação lateral das chamas «comparado com o bordo da amostra» (m) |
| F _s | Propagação das chamas (mm) |
| SMOGRA | Taxa de propagação do fumo (m ² .s ⁻²) |
| TSP _{600s} | Produção total de fumo em 600 s (m ²) |

3.4.1.6. Segurança na Utilização

A utilização normal de qualquer sistema fixo ou móvel não deve apresentar risco para o utilizador ou para terceiros, estando incluído manobras específicas e operações correntes de limpeza e manutenção [40].

Em caixilharias esta definição traduz-se no funcionamento correto de todas as partes que a compõem (perfis, ferragens, acessórios e vidros) em operações de manobra (abertura, fecho, etc.), limpeza ou manutenção. O sistema deve apresentar resistência e segurança suficientes para suportar estas operações, consideradas normais.

3.4.1.7. Estanquidade à Água

Considera-se que os sistemas de caixilharia mantêm a estanquidade à água quando, sob a ação de chuva e vento, evitam a presença de água nas partes da construção destinadas a manterem-se secas, [38] [48].

A perda de estanquidade do caixilho dá-se normalmente pelas juntas fixas (as que não produzem nenhum movimento pelo uso da janela) ou pelas juntas de abertura do sistema (elementos fixos e móveis do caixilho). São exemplos do primeiro: as juntas entre os aros da janela e os elementos contíguos da alvenaria; as juntas entre os elementos que compõem o caixilho da janela; as juntas entre o envidraçado e os perfis. Para evitar a perda de estanquidade nestes casos, deve ser prestada especial atenção à eficiência dos sistemas de vedação e às operações de selagem destas juntas, aquando da montagem do caixilho tendo especial cuidado com a qualidade dos materiais utilizados e a sua colocação. No segundo caso, de juntas de abertura do caixilho, as perdas de estanquidade são consequência direta da conceção do desenho das suas secções e é importante a união adequada entre as partes fixas e móveis do caixilho. A estanquidade à água pode também ser influenciada pela existência de fluxos de ar a velocidade elevada dentro do caixilho, estando portanto associada ao desempenho quanto à permeabilidade ao ar deste, sendo que quanto menos permeável ao ar for o caixilho, melhor será a sua estanquidade à água, [38] [49].

É portanto evidente que as várias fases de desenvolvimento de uma caixilharia, desde a sua conceção até à sua montagem em obra, são extremamente importantes para o desempenho, quanto à estanquidade à água.

3.4.1.8. Isolamento Térmico

Para assegurar o conforto térmico global é necessário que toda a fachada apresente resistência à passagem de calor por condução, convecção ou radiação, reduzindo dessa forma os gastos em energia de aquecimento ou arrefecimento, contribuindo assim para a eficiência energética dos edifícios. Os sistemas de caixilharia, como foi mencionado, têm a função de preencher uma abertura na fachada e fazer a ligação à estrutura envolvente da forma mais homogênea possível, neste caso a nível térmico. Estes constituem, normalmente, um ponto fraco da fachada já que irão estar sujeitos a ganhos excessivos de calor no Verão (devido à irradiação de calor para o interior por parte do vidro e pelas passagem de radiação solar) e a perdas de calor no Inverno (devido à irradiação de calor para o exterior por parte do vidro e passagem de ar frio pelas juntas e ainda possíveis condensações resultantes da temperatura baixa do vidro no interior), [38] [49].

Para podermos diminuir os efeitos não desejados, é necessário garantir que a passagem de calor pelos três meios mencionados é reduzida. As trocas de calor por condução estão diretamente ligadas ao coeficiente de transmissão térmica (U) dos materiais que compõem o sistema. É então fundamental assegurar que esse coeficiente é o mais baixo possível para todos os materiais, de modo a que o coeficiente de transmissão térmica de todo o sistema seja ele também baixo. Isso pode ser conseguido de diversas formas [50]:

- Escolha do material da caixilharia com baixo coeficiente de transmissão térmica;
- Escolha do tipo de vidro: simples, duplo, triplo, com ou sem caapeamento de baixa emissividade, com ar ou outro gás no espaço entre vidros;
- Possibilidade de existir caixilharia dupla;
- Presença de dispositivos de oclusão noturna.

As caixilharias duplas, assim como os vidros duplos e triplos, baseiam-se todos no mesmo princípio de funcionamento: uma câmara de ar inserida entre vidros limita as trocas térmicas por convecção, tirando proveito da baixa condutividade térmica do ar. Esse espaço pode, se desejado, ser preenchido por um gás mais denso com uma condutividade térmica mais baixa. Regra geral, quanto maior o espaço entre os vidros, melhor será o seu desempenho. Os vidros poderão ser ainda dotados de um capeamento de baixa emissividade, que reduz as transferências de radiação para o interior [39].

Também os dispositivos de oclusão noturna, como estores ou portadas, atenuam as transmissões térmicas entre o interior e o exterior nos períodos noturnos, funcionando de forma ótima na estação de aquecimento pois, quando abertas durante o dia, permitem a penetração de radiação solar e durante a noite, fechadas, reduzem significativamente o coeficiente de transmissão térmica de todo o sistema [51].

De notar que a proporção de área ocupada pelos sistemas de caixilharia na fachada assim como a relação entre a superfície ocupada pelo aro e a superfície total da janela têm também influencia no comportamento térmico da fachada, [38] [49].

3.4.1.9. Transmissão de Energia Luminosa

Nos materiais opacos às radiações, a energia que incide na superfície do corpo ou é refletida ou é absorvida. Nos materiais transparentes ou parcialmente transparentes às radiações, como é o caso dos vidros, parte da energia que incide na superfície do corpo é retransmitida através do corpo. Define-se transmissão de energia luminosa, ou transmitância, de um corpo como a fração de energia radiante, incidente numa elemento da sua superfície, que por ele é transmitida. Assim é possível afirmar que o somatório da energia refletida, absorvida e transmitida é igual à unidade [52].

Podemos verificar que o comportamento da radiação pode ser analisado tanto pelo exterior como pelo interior, sendo que o que será determinante será o último. Em termos práticos os valores dos fatores de transmissão de energia luminosa podem variar entre os 5% (vidro duplo de cor azul) e os 90% (vidro simples incolor). Esse fator deverá ser definido de acordo com a tipologia do espaço e com as características de iluminação que se pretendem para esse mesmo espaço e deverá vir especificado com um mínimo ou um máximo desejado [52].

Também importante para esta exigência, é o fator solar de um vidro, que pode ser definido como a razão entre a energia solar transmitida para o interior através do vão envidraçado e a radiação solar total nele incidente. Este pode variar, salvo casos de vidros especiais, entre 0,03 (vidro duplo incolor com portada de madeira de cor clara ativada a 100%) e 0,88 (vidro simples incolor sem proteção solar ativada). A consideração de proteção solar no cálculo deste fator apenas é interessante para a estação de arrefecimento [53].

Conclui-se portanto que a escolha do vidro para o sistema de caixilharia, é extremamente importante no âmbito do conforto luminoso. De notar que a orientação do vão e as suas dimensões são também fatores importantes a ter em conta aquando dessa escolha.

3.4.1.10. Condensação Interna

A condensação interna existe quando a temperatura correspondente ao ponto de orvalho do ambiente interior é mais elevada que a da face interior de uma superfície. Isso faz com que uma parte do vapor de água contido no ambiente interior se precipite na forma de gotas sobre a superfície mais fria. A sua aparição depende diretamente da humidade relativa do ar, da temperatura do local e da temperatura

das superfícies interiores do local. Isto quer dizer que, num local com a temperatura controlada (aquecido), e se não existir uma fonte de produção de humidade significativa (casa de banho, cozinha, etc.), não se produzirão condensações, pois a temperatura das faces internas do local estará compreendida entre a temperatura interior e exterior. Para controlar o fenómeno de condensação, é portanto necessário ventilar espaços com produção significativa de humidade/vapor e controlar a temperatura do ambiente interior do espaço a considerar [49].

Em termos de sistemas de caixilharia, é importante controlar a temperatura interior dos perfis e do vidro, que se obtém com coeficientes de transmissão térmica reduzidos, podendo optar por diversas soluções, como já foi mencionado. Na impossibilidade de se poder controlar tanto a temperatura do ar interior como a ventilação, é aceitável a utilização de um vidro simples para garantir que as condensações se produzam no vidro ao invés de outras superfícies acabadas em que produzam mais danos, como gesso, pinturas ou outros elementos decorativos [49].

3.4.1.11. Permeabilidade ao Ar

A permeabilidade ao ar é uma exigência importante para a seleção de um sistema de caixilharia. Estes devem ser minimamente estanques, mas suficientemente permeáveis ao ar para permitir efetuar a ventilação dos espaços interiores dos edifícios, sem no entanto prejudicar outros aspetos funcionais como a eficiência energética, o conforto térmico ou o isolamento acústico.

A ventilação de um espaço significa, de forma simples, a substituição do ar interior pelo ar exterior. Essa renovação é importante, pois permite controlar a temperatura e a qualidade do ar interior (remoção de poluentes, humidade, etc.) e é medida em renovações por hora (R_{ph}). A ventilação poderá ser feita por meios naturais, no caso aberturas nos edifícios, ou mecânicos (normalmente usual em locais de grande produção de humidade ou em casos especiais, em que se queira controlar totalmente todas as trocas de ar). No âmbito das exigências para sistemas de caixilharias, irá interessar-nos a primeira, que usa diferenciais de pressão entre o ar exterior e interior, para movimentar o ar e está sempre presente na totalidade dos edifícios [54].

3.4.1.12. Isolamento aos Ruídos Aéreos Exteriores

O conforto acústico, muito à semelhança do que acontece com o conforto térmico, encontra nos sistemas de caixilharia um ponto frágil da fachada, pois são estruturas com maior sensibilidade à transmissão de ruídos aéreos exteriores. Sendo um ponto mais frágil, há que ter atenção às características acústicas dos elementos que a compõem. São pontos fundamentais a considerar na seleção de caixilharia para esta exigência, [38] [49]:

- Baixa permeabilidade ao ar: o ruído propaga-se no ar e portanto é importante limitar ao máximo a passagem de ar em juntas e frestas;
- Baixa transmissão de vibrações: o material escolhido na caixilharia é também importante, pois pode transmitir as ondas sonoras para o interior através da sua própria vibração;
- Quantidade e espessura dos vidros: os vidros proporcionam melhor isolamento acústico quanto maior a sua espessura e quanto maior a largura da caixa de ar (ou gás). Em termos de quantidade, o vidro duplo apresenta muito melhor isolamento que um simples, mas um triplo não supõe um aumento substancial no isolamento em relação aos duplos. É aconselhável a utilização de diferentes espessuras em vidros triplos ou duplos de modo a evitar fenómenos de ressonância.

3.4.1.13. Durabilidade

A durabilidade do sistema de caixilharia depende de um conjunto de fatores tais como a resistência a variações de temperatura, radiação solar, corrosão, resistência mecânica, limpeza, manutenção, entre outros. Através da seleção adequada dos materiais (incluindo capeamentos, conservação, composição e espessuras), componentes e métodos de união para a caixilharia, pode-se assegurar a durabilidade dos produtos para uma duração de vida extremamente razoável, sendo por isso fundamental que os materiais constituintes do produto, incluindo qualquer capeamento e/ou proteção aplicada, sejam declarados pelo fabricante. Isso deve ser aplicado a todos os componentes que têm efeito sobre a durabilidade do produto no uso pretendido exceto aqueles componentes que seguem standards de produtos individuais (acessórios, juntas de estanquidade, etc.).

3.4.2. ENQUADRAMENTO NORMATIVO

No âmbito da caixilharia, existem diversas normas europeias harmonizadas assim como as respetivas adaptações para a normalização portuguesa, nomeadamente no que toca a três grandes grupos, [55] [56]:

- Janelas, portas, ferragens e cerramento de vãos;
- Fachadas-cortina;
- Vidro em edifícios.

As normas europeias harmonizadas, visam aplicar a marcação CE aos produtos envolvidos, neste caso as caixilharias. A marcação CE é como um “passaporte” que permite comprovar que um produto colocado no mercado comunitário, está em conformidade com a legislação comunitária por estar em concordância com as especificações técnicas aplicáveis que são definidas nessas mesmas normas europeias [57].

A seleção de uma caixilharia, estará então sujeita a normas que estabeleçam um conjunto de especificações e requisitos associados a propriedades físicas e mecânicas destes sistemas, algumas das quais já mencionadas. De uma forma geral as propriedades são caracterizadas através de ensaios laboratoriais, também eles normalizados, com provetes de janelas e portas em tamanho real e no que toca às fachadas-cortina com porções representativas (módulos de fachada). Podem, no entanto, existir algumas propriedades que é possível determinar analiticamente ou recorrendo a valores tabelados, como o coeficiente de transmissão térmica (devido à dificuldade e custo elevado do método de ensaio) ou o isolamento sonoro a ruídos aéreos [38].

Como esta monografia se dedica a retratar o PVC na construção, não irão ser aprofundadas as normas relativas a vidros em edifícios ou mesmo a fachadas-cortina, mas sim a norma europeia EN 14351-1:2006+A1:2010 [55] que se traduz na norma portuguesa NP EN 14351-1:2008+A1:2011 [56], que está associada à norma de produto e características de desempenho de janelas e portas, sendo que a Parte 1 se refere a janelas e portas pedonais exteriores sem características de resistência ao fogo e/ou estanquidade ao fumo. As características previstas na norma por tipo de abertura representam-se no quadro 7.

Quadro 7 – Características necessárias para a marcação CE [58]

| Características | Janelas | Portas pedonais exteriores | Janelas de telhado | Observações |
|---|---------|----------------------------|--------------------|---|
| Comportamento frente ao fogo exterior | - | - | X | |
| Reação ao fogo | - | - | X | |
| Estanquidade à água | X | X | X | |
| Substâncias perigosas | X | X | X | |
| Resistência à carga do vento | - | X | X | |
| Resistência à carga de neve e carga permanente | - | - | X | |
| Resistência aos impactos | - | X | X | Em portas, apenas para portas envidraçadas com risco de danos |
| Capacidade para suportar cargas dos dispositivos de segurança | X | X | X | Para janelas ou portas com dispositivos de segurança: reversíveis, limitadores e fixação para limpeza, etc. |
| Altura | - | X | - | Para portas envidraçadas |
| Capacidade de desbloqueio | - | X | - | Apenas para portas colocadas em saídas de emergência |
| Força de manobra dos dispositivos de abertura | - | X | - | |
| Prestações acústicas | X | X | X | |
| Transmissão térmica | X | X | X | |
| Propriedades de radiação | - | - | X | |
| Permeabilidade ao ar | X | X | X | |

Na legislação portuguesa existem ainda alguns regulamentos que são aplicáveis no âmbito da caixilharia em obras de construção. São eles [38]:

- Emissão de substâncias perigosas – Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE). Decreto-Lei n.º 79/2006 [59];
- Desempenho acústico – Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE). Decreto-Lei n.º 96/2008 [60];

- Coeficiente de transmissão térmica e permeabilidade ao ar – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS). Decreto-Lei n.º 118/2013 [53];
- Resistência e Reação ao fogo – Regulamento Jurídico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios (RJ-SCIE). Decreto-Lei n.º 220/2008 [41].

Além da legislação referida, embora sem caráter obrigatório, são ainda adotadas pelo meio técnico (projetistas, fabricantes e instaladores de caixilharia e empresas da construção) as recomendações do LNEC para a especificação das classes de desempenho de janelas em função da sua exposição (ITE 51 [61] e ITE 52 [62]), cobrindo as seguintes características, [57] [63]:

- Estanquidade à água – ITE 51;
- Resistência ao vento – ITE 51;
- Resistência ao impacto – ITE 51 e ITE 52;
- Segurança dos dispositivos de manobra – ITE 51;
- Permeabilidade ao ar – ITE 51.

A avaliação da aptidão ao uso e o nível de qualidade de desempenho dos sistemas de caixilharia é realizada através da comparação entre as classes determinadas em ensaios laboratoriais (definidas na marcação CE) e as classes mínimas de desempenho expectável (definidas nas recomendações do LNEC já expostas e na regulamentação portuguesa). Ou seja uma caixilharia é adequada quando as classes de desempenho da marcação CE (ensaiadas) são maiores ou iguais à classificação recomendada pelo ITE51 [38].

3.4.2.1. Resistência ao Vento

Os ensaios relativamente à resistência ao vento devem ser executados em laboratório, segundo a norma EN 12211 [64] e os resultados expressos segundo a norma EN 12210 [65]. Três testes distintos são efetuados de forma sucessiva no provete: o Teste de Flecha, que afere a deflexão do caixilho, o Teste de Pressões Repetidas, que atesta a capacidade do provete para conservar as suas propriedades e o Teste de Segurança que sujeita o provete a condições extremas, de modo a verificar a segurança dos utilizadores. São definidas pela norma classes de desempenho, que traduzirão o comportamento do sistema, que se apresentam no quadro 8, tendo em conta que a classificação designada por Exxx deve apresentar a pressão de teste atingida no lugar de “xxx”, [55] [56] [66]:

Quadro 8 – Classes de desempenho de resistência ao vento, [55] [56]

| Resistência ao Vento | Sem performance declarada | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Exxxx |
|--------------------------|---------------------------|----------|-------|----------|--------|----------|---------|
| Teste de Pressão P1 (Pa) | | (400) | (800) | (1200) | (1600) | (2000) | (>2000) |
| Resistência ao Vento | Sem performance declarada | A | | B | | C | |
| Deflexão do Caixilho | | (≤1/150) | | (≤1/200) | | (≤1/300) | |

3.4.2.2. Estanquidade à Água

Os ensaios de estanquidade à água devem ser feitos de acordo com a norma EN 1027 [67] e os resultados expressos de acordo com a norma EN 12208 [68]. O ensaio consiste em pulverizar de forma contínua e regularmente dispersa, a superfície expectável de ser molhada do protótipo, com um caudal específico de água, enquanto se aplicam incrementos positivos de pressões em intervalos de tempo regulares. O sistema é considerado estanque enquanto não ocorrerem infiltrações de água para o interior do compartimento ou para qualquer parte que não ofereça escoamento para o exterior. Apresentam-se de seguida no quadro 9 as classes de desempenho para esta exigência em função dos patamares de pressão em Pascais, tendo em conta que a classificação designada por Exxx deve apresentar a pressão de teste atingida no lugar de “xxx”, [55] [56] [66]:

Quadro 9 – Classes de desempenho de estanquidade à água, [55] [56]

| Estanquidade à Água | | | | | | | | | | | |
|--|---------------------------|-----------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------|
| Não protegido (A) Teste de Pressão (Pa) | Sem performance declarada | 1A (0) | 2A (50) | 3A (100) | 4A (150) | 5A (200) | 6A (250) | 7A (300) | 8A (450) | 9A (600) | Exxx (>600) |

3.4.2.3. Permeabilidade ao Ar

Os ensaios de permeabilidade ao ar devem ser feitos de acordo com a EN 1026 [69] e os seus resultados expressos segundo a norma EN 12207 [70]. O princípio do ensaio baseia-se na aplicação de séries de pressões de teste (positivas e negativas) no provete, controlando-se a sua permeabilidade ao ar com dispositivos para medir o fluxo de ar. A norma prevê as classes de desempenho demonstradas no quadro 10, nos ensaios referidos, [55] [56] [66]:

Quadro 10 – Classes de desempenho de permeabilidade ao ar, [55] [56]

| Permeabilidade ao Ar | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|---------------|--------------|-------------|-------------|
| Teste de Pressão Máx. (Pa) | (150) | (300) | (600) | (600) |
| Permeabilidade ao ar de referência a 100 Pa ($\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ ou $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m})$) | (50 ou 12,50) | (27 ou 6,75) | (9 ou 2,25) | (3 ou 0,75) |

3.4.2.4. Resistência ao Impacto

A resistência ao impacto é ensaiada e classificada segundo a norma EN 13049 [71]. O ensaio consiste em fixar o provete numa estrutura e efetuar um impacto no provete com um pêndulo normalizado. A classificação é realizada de acordo com a altura de queda do pêndulo que não comprometa os requisitos de segurança estipulados na norma. A classificação quanto à resistência ao impacto é a que se apresenta no quadro 11, [55] [56] [66]:

Quadro 11 – Classes de desempenho de resistência ao impacto, [55] [56]

| Resistência ao Impacto | | | | | |
|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Altura de queda (mm) | 200 | 300 | 450 | 700 | 950 |

3.4.2.5. Força de Manobra dos Dispositivos de Abertura

Esta exigência pode ser ensaiada pelas normas EN 12046-1 [72] (janelas) ou EN 12046-2 [73] (portas), sendo os resultados expressos segundo as normas EN 13115 [74] (janelas) ou EN 12217 [75] (portas). O princípio do ensaio consiste na medição da força ou momento tórcor estáticos mínimos necessários para libertar ou engatar as ferragens (fechaduras e puxadores) e iniciar o movimento de abertura e completar o fecho do caixilho ou da vidraça, [55] [56] [66].

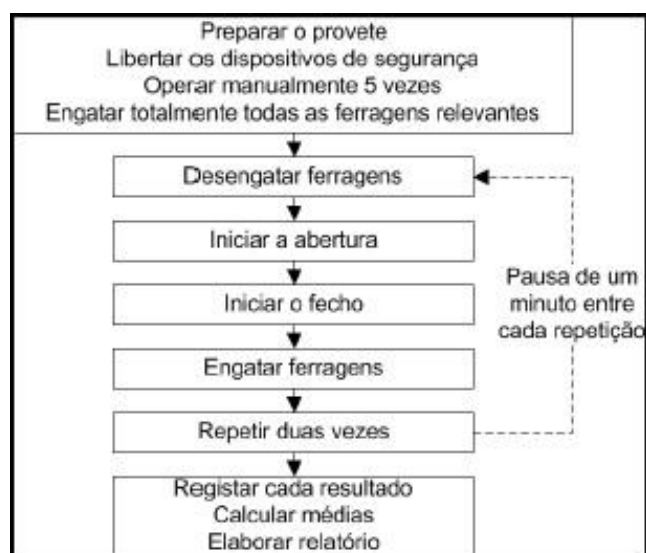


Fig.14 – Procedimento para ensaio de forças de manobra [66]

3.4.2.6. Capacidade para Suportar Cargas dos Dispositivos de Segurança

Os ensaios para esta exigência efetuam-se segundo as normas EN 14609 [76] (janelas) e EN 948 [77] (portas). Estes ensaios baseiam-se no Ensaio de Determinação da Resistência à Torção Estática de Janelas e Portas e consiste em fixar uma das extremidades da zona móvel do provete e aplicar uma força na outra extremidade livre do provete, medindo a deformação que esta sofre. Para a aplicação da Marcação CE, aplica-se uma carga de 350 N no modo mais desfavorável e o provete deve ter a capacidade de resistir, na mesma posição durante 60 segundos, [55] [56] [66].

3.4.2.7. Coeficiente de Transmissão Térmica

O coeficiente de transmissão térmica pode ser determinado: por ensaio “Hot-Box” (EN ISO 12567-1/-2) [78] [79], por cálculo simplificado (EN ISO 10077-1) [80] ou por cálculo numérico (EN ISO 10077-1/-2) [80] [81]. O coeficiente apresentado deve ser referente à totalidade do vão (U_w) e não aos

seus elementos constituintes individualmente, apesar de estes poderem ser apresentados, desde que o valor global venha bem identificado, [55] [56] [66].

Em termos de legislação portuguesa, existe ainda o REH que limita os valores de referência de U_w , para o cálculo do valor máximo das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, que podem variar entre 2,40 e 2,90 W/(m².°C) dependendo da zona do país em que o edifício se encontra [53].

3.4.2.8. Desempenho Acústico

O isolamento acústico deve ser determinado de acordo com a EN ISO 10140-2 [82] (método de referência) e os resultados expressos segundo a norma EN ISO 717-1 [83]. A norma exige que se apresente o valor do índice de redução sonora (R_w), com uma classificação complementar correspondente a uma correção quando o ruído é proveniente do tráfego (C_{tr}) e para outros tipos de ruído, ruído rosa, a correção C. A classificação é então apresentada da seguinte forma: $R_w (C;C_{tr})$ em dB, [55] [56] [66].

3.4.2.9. Substâncias Perigosas

Até onde o estado da arte permita, o fabricante deve estabelecer aqueles materiais do produto que são responsáveis pela emissão ou migração, durante o uso normal pretendido, de substâncias potencialmente perigosas para a higiene, saúde ou para o meio ambiente, [55] [56].

3.4.2.10. Reação ao Fogo

A classificação dos materiais quanto à reação ao fogo encontra-se exposta no item 3.4.1.4. deste capítulo. Em termos de limites, o RJ-SCIE [41] define uma classe mínima de desempenho para [41]:

- Elementos transparentes: com altura do edifício menor de 28 metros – C-s2 d0; com altura do edifício maior de 28 metros – B-s2 d0;
- Caixilharias e estores ou persianas: com altura do edifício menor que 28 metros – D-s3 d0; com altura do edifício maior que 28 metros – C-s3 d0.

3.4.2.11. Propriedades de Radiação

A determinação da energia total transmitida (fator solar, g) e a transmissão de luz dos envidraçados translúcidos deve ser feita de acordo com a EN 410 [84] e a EN 13363-1 [85] ou pela norma de cálculo EN 13363-2 [86], [55] [56].

O REH define ainda valores máximos admissíveis do fator solar ($g_{Tmáx}$), para vãos envidraçados, que podem variar de 0,10 a 0,56, dependendo da zona do país em que se encontra o edifício e da sua classe de inércia térmica [53].

3.4.3. DESEMPENHO DAS CAIXILHARIAS EM PVC

As caixilharias de PVC conseguem, com a tecnologia atual, atingir valores bastante satisfatórios em grande parte das propriedades harmonizadas pela norma.

Em termos de resistência ao vento as caixilharias de PVC apresentam valores compreendidos entre C2 e C5. A nível de estanquidade à água, as caixilharias apresentam resultados bastante altos: entre 8A a E1650. Na permeabilidade ao ar, a classificação situa-se normalmente entre as Classes 3 e 4.

4

SISTEMAS CONSTRUTIVOS EM PVC E BETÃO ARMADO

4.1. INTRODUÇÃO

4.1.1. COFRAGENS *STAY-IN-PLACE*

Com o aumento da complexidade dos edifícios, também os seus custos terão tendência para aumentar, sendo por isso de extrema importância acompanhar essa complexidade com soluções que permitam reduzir esses custos [87].

A cofragem é a componente mais importante no que toca ao custo da construção de estruturas de betão armado e representa, entre materiais e trabalhos, mais de 50% do custo total de um elemento em betão armado. No panorama geral, estes custos terão um impacto significativo no custo total da estrutura de um edifício e portanto as inovações nos métodos de cofragem podem ajudar a reduzir esse impacto, [87] [88].

Durante muitos anos as técnicas de cofragem geralmente utilizadas envolviam formas de madeira. No entanto, nas últimas décadas, a cofragem de madeira tem encontrado obstáculos, nomeadamente no que toca às restrições a nível mundial ao abate de árvores [89]. Além do desafio ambiental que o material acarreta, o consumo de tempo e o consequente dispendioso processo de montagem, desmontagem, limpeza e armazenamento, define desde já uma meta para novos sistemas de cofragem: a necessidade de poupança nos trabalhos inerentes à cofragem de elementos em betão armado [87].

De modo a responder aos desafios do mercado, foram encontradas diversas soluções, com diversos materiais, entre os quais o PVC. O material é leve e resistente e permite dar uma resposta satisfatória às exigências construtivas, ao mesmo tempo que reduz custos e prazos devido às suas características. Este é utilizado essencialmente em sistemas de cofragem perdida, ou seja não reutilizável, sendo que a cofragem pode ser retirada e desperdiçada ou mantida no elemento.

Este último sistema é chamado de sistema de cofragem Stay-in-Place (SiP) ou cofragens perdidas. Por oposição aos sistemas tradicionais e mais utilizados, o sistema SiP irá permanecer no mesmo local, mesmo após o endurecimento do betão, não permitindo a reutilização da cofragem. De modo a responder à crescente procura no que toca ao uso sustentável de materiais, um sistema de cofragem SiP deve ter um contributo significativo na fase pós-endurecimento do elemento estrutural, seja por contribuir para a capacidade estrutural do elemento em termos de esforços, por aumentar a durabilidade do elemento, devido a natureza protetora da cofragem SiP contra eventuais corrosões ou agentes químicos, ou simplesmente pela melhoria da estética do elemento, conferida pelo acabamento da cofragem SiP, [90] [91].

A cofragem SiP pode ser utilizada em qualquer elemento estrutural: lajes, pilares, paredes ou vigas. Algumas das suas utilizações, como as pré-lajes (ou meia-laje), pisos aligeirados com blocos, ou paredes de duplo painel, são normalmente categorizadas como elementos pré-fabricados de betão, mas o seu fundamento assenta nos princípios da cofragem SiP [87].

O PVC é um material ideal para aplicar no âmbito de cofragens SiP, já que a sua leveza permite uma redução de custos com maquinaria pesada assim como de tempo de execução, e a sua resistência mecânica e química tornam-no numa peça importante para a durabilidade do elemento estrutural. O seu uso com sucesso poderá tornar supérfluo um grande volume de trabalhos relacionados com a cofragem de elementos estruturais em betão armado e reduzir os custos globais de um edifício [87].

Este capítulo é inteiramente dedicado apenas a sistemas que integrem o PVC com betão armado, já que é um ramo do mercado algo evoluído, com diversas informações sobre o tema e que gera algum consenso nos benefícios que traz à construção.

4.1.2. INFLUÊNCIA ESTRUTURAL DO PVC

Uma das razões para o uso de PVC em cofragens é a influência que este pode exercer a nível da performance estrutural dos elementos.

Um estudo acerca dessa mesma influência sobre o comportamento à compressão e flexão de diferentes configurações de cofragens de PVC foi realizado e concluiu o seguinte [92]:

- A presença do PVC aumenta a resistência à compressão dos elementos. Este aumento é atribuído à ação confinante da cofragem. A carga máxima foi atingida quando a ligação do betão aos conectores interiores da cofragem foi quebrada;
- No comportamento à flexão, o PVC fez aumentar o momento resistente máximo e a rigidez de flexão das amostras de betão. Os dados sugerem que as diferentes configurações de conectores internos influenciam a capacidade de melhoria destes resultados;
- A análise no estado limite último de resistência indica que as peças que contêm mais PVC nas regiões sujeitas a tensões irão ter um momento resistente máximo superior. Os dados experimentais corroboram esta teoria;
- As cofragens de PVC provocam uma redução significativa da lascagem do betão, tanto sob ação de flexão como de compressão.

O estudo refere ainda que as conclusões tiradas são baseadas numa média de seis amostras, sendo que se forem considerados os desvios-padrão os resultados podem não ser estatisticamente significativos e recomendam futuros desenvolvimentos baseados num maior número de amostras de forma a corroborar os resultados mencionados.

Um outro estudo avaliou individualmente o comportamento à flexão de paredes com cofragem SiP em PVC chegando às seguintes conclusões [93]:

- Os provetes com a cofragem de PVC mostraram uma melhoria da carga de fendilhação entre 216% a 270% em relação às paredes de controle;
- O efeito benéfico do PVC na tensão de cedência é inversamente proporcional à área de armaduras usada. O aumento na carga de cedência em relação às paredes de controlo esteve entre 15% a 22%;
- A contribuição do sistema de PVC para a carga de rotura aumentou conforme a espessura de betão diminuía e/ou a área das armaduras diminuía. Este aumento esteve entre 17,4% e 37,7% em relação às paredes de controle;

- A cofragem de PVC contribuiu para a melhoria da ductilidade do sistema com um aumento da deformação máxima entre 2,5% e 134% em relação às paredes de controlo;

Um trabalho mais recente estudou também a influência das cofragens de PVC sob ação de cargas de compressão excêntricas e tirou as seguintes conclusões [94]:

- As paredes de controlo (sem cofragem de PVC), romperam por cedência das armaduras seguido do esmagamento do betão. Nas paredes com cofragem de PVC, apenas após o esmagamento do betão é que o PVC apresentou deformação;
- As paredes com cofragem de PVC, aguentaram uma carga axial máxima superior às paredes de controlo. As paredes com PVC apresentaram resultados entre 10% a 37.2% superiores às paredes de controlo, variando conforme as várias excentricidades e configurações de armaduras;
- Os resultados mostraram que as amostras com cofragem de PVC apresentam um aumento da capacidade de absorção de energia, quando comparadas com as paredes de controlo;
- Num modelo analítico desenvolvido para prever a carga de rotura das amostras, os cálculos mostraram um erro conservador de 5.9% em média, em relação aos dados experimentais.

Ainda outro trabalho foi realizado, focando-se na análise experimental e analítica da resistência à flexão de provetes com cofragem SiP de PVC [95]. As conclusões foram as seguintes:

- A cofragem de PVC melhorou a capacidade de carga à flexão. Para painéis lisos, a melhoria média da tensão de cedência e da tensão de rotura foi de 21% e 27% respetivamente. Para painéis ocos, esses resultados foram de 8% e 27%. Assim sendo os painéis lisos mostraram mais melhorias relativamente à capacidade de carga à flexão. Esta diferença de melhoria foi atribuída à localização das armaduras mais próxima da extremidade (os provetes tinham a mesmas dimensões mas a espessura do painel oco faz com que a distância da extremidade às armaduras seja menor). O melhoramento em ambos os casos foi mais evidente na condição de rotura devido às maiores tensões nos painéis de PVC que contribuem para a capacidade de carga à flexão;
- O melhoramento relativamente à capacidade de carga à flexão foi função da área das armaduras e da espessura das paredes. O efeito do PVC diminuiu conforme a área das armaduras e a espessura das paredes aumentavam, sendo que as paredes mais finas e levemente reforçadas tiveram os melhores resultados;
- Foi feita uma comparação entre paredes com cofragem SiP em PVC e paredes normais em betão armado, mas com mais 25 milímetros de espessura. As tensões de cedência e de rotura foram muito similares nesta comparação, sugerindo o potencial uso das cofragens SiP como meio de reduzir a espessura das paredes e obter a mesma performance estrutural;
- As cofragens de PVC melhoraram a ductilidade e a rigidez à flexão das paredes no limite da rotura. Os painéis lisos melhoraram a ductilidade e a rigidez em 71% e 122% respetivamente. Os painéis ocos obtiveram melhorias de 29% e 70% respetivamente. Os melhores resultados dos painéis lisos, nestas duas grandezas, foi atribuído ao facto de estes e o betão se comportarem como apenas um material composto, enquanto que nos painéis ocos não se observou esse comportamento.
- Não houve diferenças estatisticamente relevantes quanto à resistência do betão, entre as várias amostras;

Podemos portanto afirmar, baseado nas conclusões dos vários estudos, que o PVC usado como cofragem SiP induz melhorias significativas de algumas grandezas importantes para o comportamento estrutural de um elemento.

4.2. MATERIAIS

4.2.1. PVC

As paredes são compostas por perfis extrudidos de PVC-U, normalmente formulado com aditivos especialmente escolhidos para proporcionar características únicas destinadas à sua aplicação, nomeadamente modificadores de impacto (para aumentar a resistência mecânica), lubrificantes (para melhorar a processabilidade no fabrico), estabilizadores (proteção adicional contra radiação UV e calor) e outros aditivos como supressores de fumo e chama, de modo a melhorar o comportamento ao fogo do material.

4.2.2. BETÃO

A betonagem nos sistemas de cofragem perdida em PVC, pode ser efetuada com poucas restrições a nível de mistura do betão. Podem ser usadas misturas de betão de alta plasticidade ou muito fluídas, de forma a ocupar o máximo de vazios, sem a preocupação típica com a integridade da superfície, aquando do uso de cofragem tradicional, já que esta não estará à vista. Pela mesma razão, não serão necessárias preocupações adicionais nas proporções de mistura aquando do uso de betão de alta resistência [96].

Poderão haver restrições de alguns fabricantes quanto às pressões máximas admissíveis dentro das cofragens. A Octaform, empresa fabricante de cofragens para paredes de PVC, recomenda que não se exceda os 29 Kpa como a máxima pressão do betão sobre a parede de PVC e estabelece também um rácio de betonagem máximo, que se traduz na máxima altura de betão a ser colocada por hora, para garantir que não existe deformação das paredes [97]. No quadro 12 encontram-se esses rácios máximos em função da temperatura do ar ambiente, recomendados pela Octaform.

Quadro 12 – Rácios de betonagem máximos para o sistema de paredes Octaform [97]

| | Temperatura Ambiente | | | | | |
|--|----------------------|-------|-------|-------|-------|------|
| | 32 °C | 27 °C | 21 °C | 15 °C | 10 °C | 4 °C |
| Rácio de betonagem para as cofragens Octaform (metros/hora) | 1,37 | 1,11 | 1,10 | 0,91 | 0,80 | 0,61 |

Quanto à betonagem propriamente dita é necessário, como em qualquer outra obra, uma inspeção rigorosa do local. Para os sistemas de paredes em particular deve-se procurar painéis em falta, verificar o correto posicionamento do isolamento (se existente), verificar a estabilidade do sistema de escoramento ou procurar qualquer anomalia não usual. Como nas paredes tradicionais, a betonagem pode ser realizada pelos vários métodos disponíveis incluindo betonagem com camião bomba, com bomba fixa ou com balde, devendo ser sempre verificada a existência de espaço de manobra suficiente para os equipamentos, já que irá afetar a quantidade de betão que se pode colocar de uma só vez [97].

Os fabricantes deste tipo de cofragem SiP recomendam que a betonagem se inicie pelas paredes exteriores, de preferência por um canto, garantindo pelo menos duas fases de betonagem antes de betonar a primeira parede interior, de forma a aliviar as pressões do betão em qualquer interseção de paredes em T. Recomendam também que se tente espalhar o betão o melhor possível dentro das cofragens, para evitar a acumulação de betão numa só célula e que a vibração, se efetuada ao mesmo tempo, seja feita pelo menos a 3,5/4 metros do local de espalhamento do betão [97].

4.2.3. ARMADURAS

No caso das cofragens de paredes, a necessidade de armaduras horizontais é geralmente associada ao controle de fendilhação na superfície do betão. Devido aos perfis, a superfície do betão não está exposta, o que implica a necessidade da disposição de tais armaduras ser revista. Também as armaduras requeridas para efeitos de retração e temperatura, podem ser em algumas situações colocadas ao nível das lajes térreas, deixando as paredes livres de reforços horizontais [96].

4.3. SOLUÇÕES PARA PAREDES

Uma das soluções possíveis para a utilização do PVC como material para cofragem SiP é a de erguer paredes. O sistema é de simples execução e consiste em perfis modulares de PVC, encaixáveis entre si, que são posteriormente preenchidos com o material desejado, dependendo das funções que se pretendem para a parede. Uma parte das aplicações do sistema é feita através da construção de paredes estruturais com preenchimento de betão e com recurso a armaduras de aço. Quando assim é, o sistema substitui a necessidade da construção tradicional de paredes em alvenaria estrutural e dos sistemas tradicionais de cofragem, apesar de ser totalmente compatível com estes, especialmente no que toca a outros elementos.

No entanto existem ainda outras aplicações, com soluções baseadas na conjugação do PVC com outros materiais, em que a função estrutural pode ser desempenhada por estruturas metálicas ou de madeira no interior dos perfis. Os painéis podem depois ser preenchidos com diversos materiais, de modo a melhorar as características térmicas ou acústicas da edificação ou para aumentar o peso próprio da parede. Pode-se utilizar para este efeito: poliuretano expandido, poliestireno em barras, areia, brita, entre outros. É ainda possível deixar os perfis ocos, o que é adequado quando se pretendem construções temporárias desmontáveis. Estas aplicações são usadas mais no ramo comercial, em construções com menos exigências a nível de conforto ou até para contemplar apenas a presença de equipamentos [98].

4.3.1. DESCRIÇÃO DE UM SISTEMA (EXEMPLO)

Para descrever o sistema achou-se necessário escolher um dos muitos fabricantes de cofragens SiP de PVC e proceder à explicação de todo o processo de montagem até ao produto final. O sistema escolhido foi o Octaform, fabricado pela empresa homónima e todo este sub-capítulo, incluindo as ilustrações e pormenores utilizados, são baseados no “*Octaform Construction Guide*” [97], documento fornecido pela empresa para a construção de um edifício com cofragens SiP de PVC.

Os perfis de cofragens existem em seis diferentes espessuras: 5, 10, 15, 20, 25 e 30 centímetros, três texturas (lisas, rugosas ou octogonais) e podem formar paredes de até 9 metros de altura. A variação de espessura permite jogar com o comportamento térmico e acústico da parede, podendo até ser inseridos nos perfis camadas de isolamento (EPS, XPS, etc.).

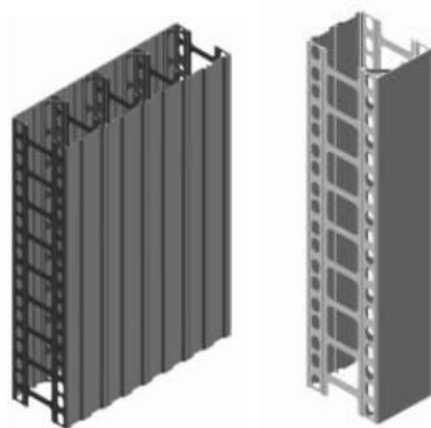


Fig.15 – Exemplo de parede rugosa e lisa Octaform

4.3.1.1. Preparação do Local

Para assegurar uma construção rápida, deve ser feita uma inspeção ao local de trabalho, aos materiais e ferramentas a utilizar e uma análise das logísticas envolvidas na montagem. De modo a garantir que o projeto segue a calendarização prevista, deve ser garantido atempadamente:

- Determinação do fornecedor de betão;
- Verificar a disponibilidade de equipamento para betonagem;
- Confirmar a data de entrega dos perfis;
- Assegurar equipamento para descarregar os perfis.

No local da obra, os seguintes itens devem ser garantidos:

- Uma área limpa e plana, idealmente perto de onde irão ser construídas as paredes, para descarregar e armazenar os perfis;
- A preparação do solo para escoramento;
- Imagens e marcações de eventuais passagens de tubagens nas lajes;
- Inspeção da localização das armaduras de ligação provenientes da laje térrea, verificando o seu correto posicionamento, tendo em atenção a localização de eventuais aberturas de portas;
- Inspeção de materiais;
- Inspeção de ferramentas.

4.3.1.2. Componentes

É necessário, antes da chegada dos materiais, familiarizar a equipa de trabalho com os componentes, o manuseamento e os procedimentos de instalação associados ao sistema. Para isso a empresa fornece desenhos da disposição e detalhes da montagem das paredes, assim como a listagem de peças entregues, para revisão pelo construtor.

O inventário completo do sistema Octaform consiste em até 30 componentes diferentes, sendo que tipicamente num projeto menos de metade destes serão utilizados. Em cada projeto, deverá ser consultada a documentação fornecida para determinar a localização, quantidade e quais os componentes que serão utilizados.

Os conectores que determinam a espessura da parede podem ser de 100, 150, 200, 250 e 300 milímetros de largura e são fabricados até uma altura máxima de 9 metros.

As peças são divididas em quatro tipos: painéis (o revestimento exterior que será a superfície acabada da parede), conectores (o componente que liga os painéis e mantém a cofragem junta), ligadores a 45° (o componente que impede o abaulamento dos perfis) e superfícies *SNAPLockTight* (uma superfície de parede totalmente estanque à água e ao ar especialmente concebida para ambientes extremamente sensíveis à formação de bactérias e bolores). Apresentam-se nas figuras 16, 17 e 18 alguns dos componentes que compõem o sistema Octaform, estando os restantes no anexo A1.

PANELS

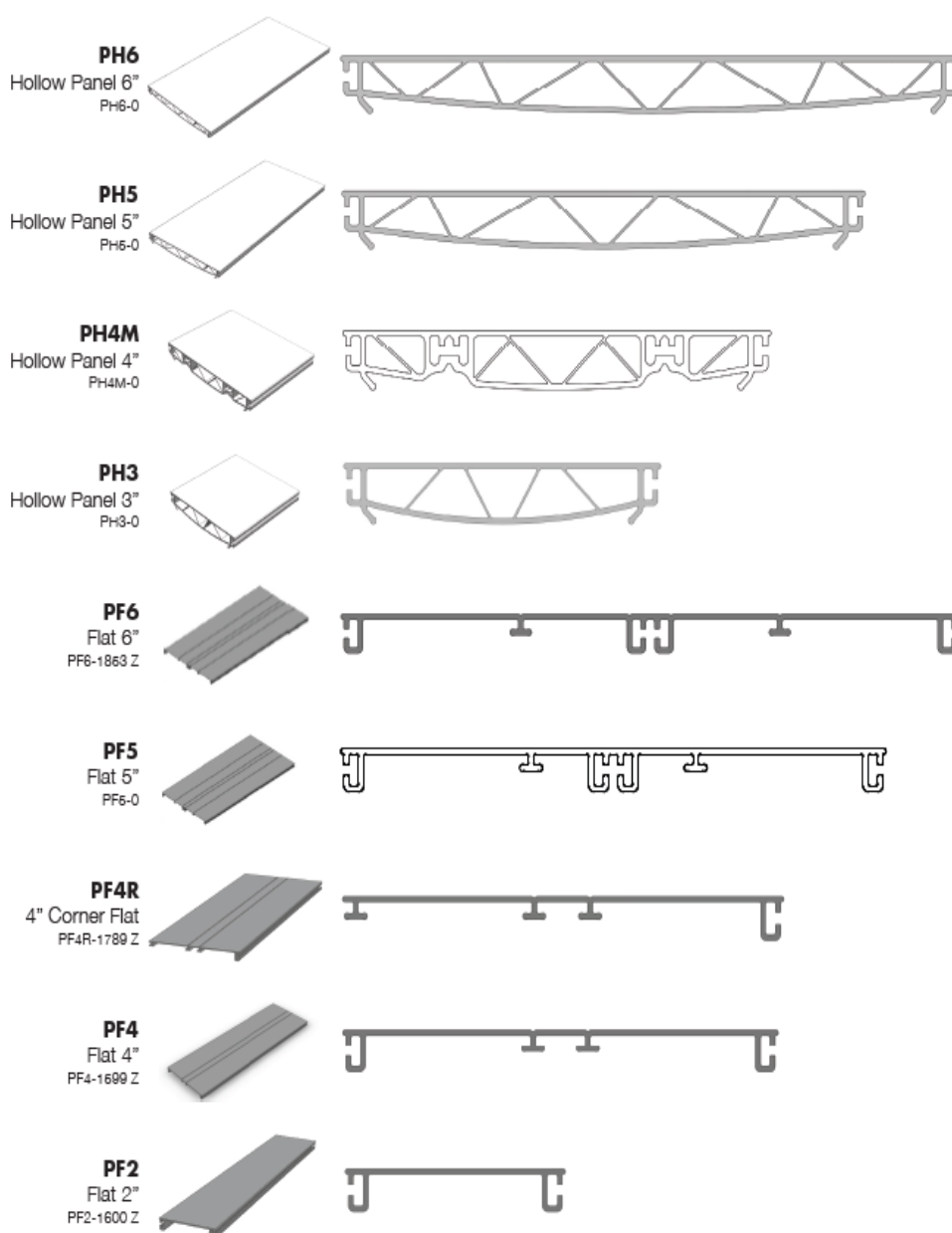


Fig.16 – Tipos de painéis Octaform

CONNECTORS

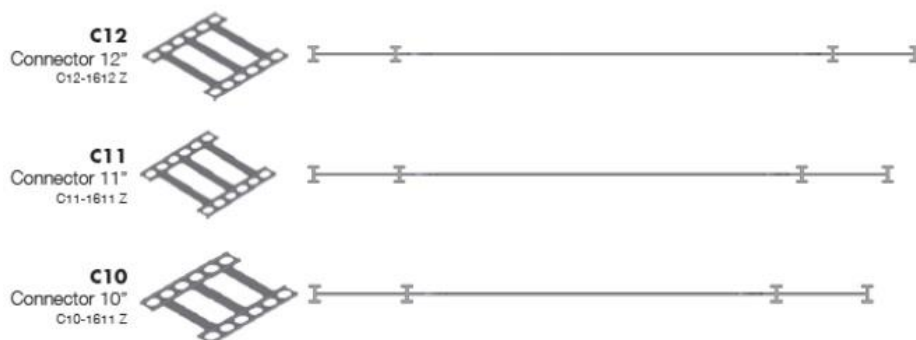
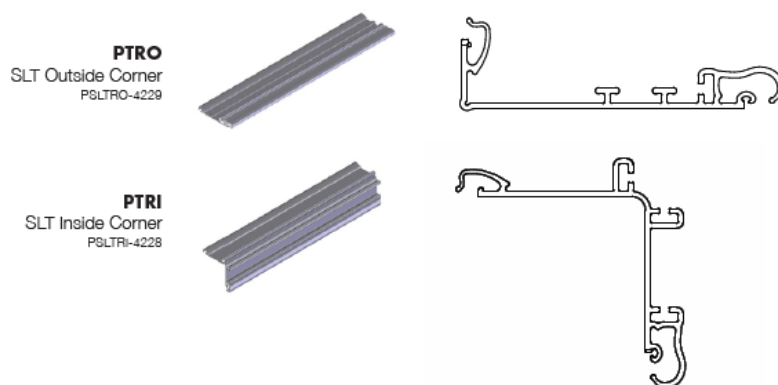


Fig.17 – Exemplo de conectores Octaform

CORNERS



TRIM

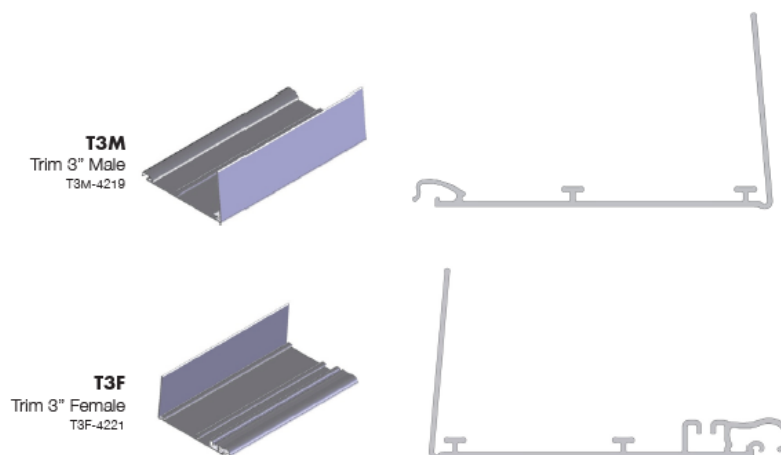


Fig.18 – Peças especiais de cantos e guarnições Octaform

4.3.1.3. Pré-montagem

A empresa Octaform usa, para transporte e entrega dos seus perfis, caixas de madeira leve com uma identificação que indica a quantidade, tipo e tamanho das peças incluídas na caixa. O tamanho máximo da caixa é de 42” de largura e 46” de altura e cada uma pode conter até 700 componentes e pode pesar até 1814 Kg, sendo importante o conhecimento desse peso para determinar que tipo de equipamento é necessário para descarregar o material.

Estas caixas são transformáveis numa mesa de trabalho, onde os painéis serão montados, sendo apenas necessário retirar os topos, fixá-los no cimo da caixa e de um dos lados colocar uma trave de madeira, como se ilustra na figura 19.

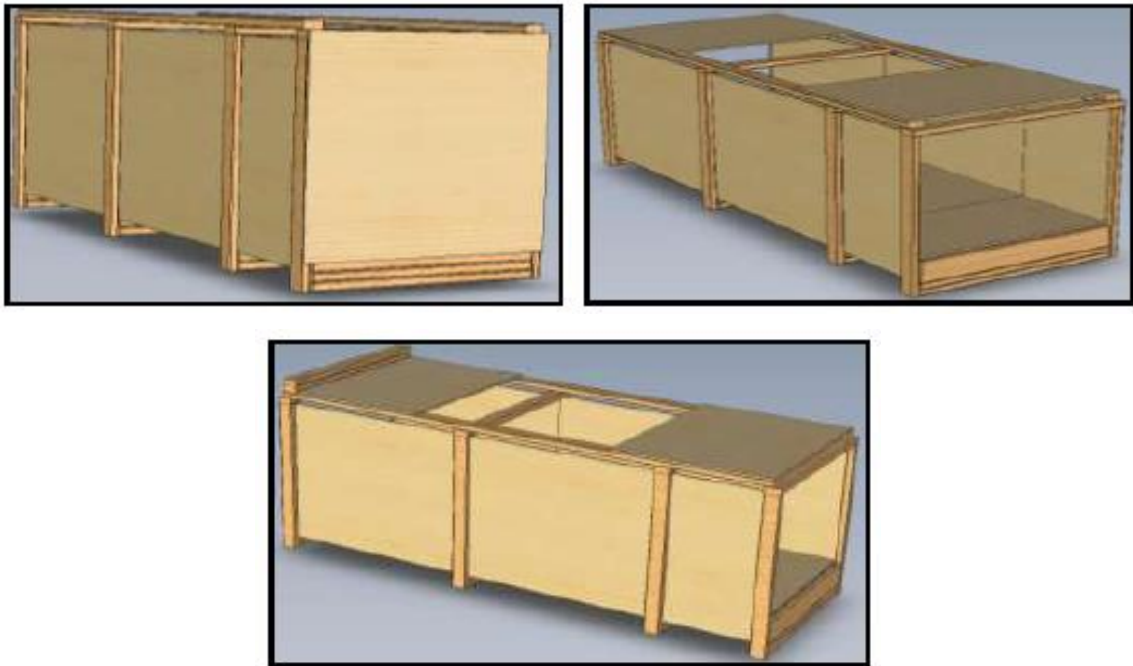


Fig.19 – Transformação da caixa de transporte em mesa de trabalho

O sistema Octaform pode ser instalado em cima de sapatas, paredes de fundação, vigas de fundação ou ensoleiramento com lajes de betão. O topo da fundação deve estar nivelado, livre de detritos e sem restos de betão. A fundação e a espessura necessária para as paredes será projetada pelo engenheiro de estruturas responsável.

Para a colocação das armaduras de ligação da fundação, começa-se por encontrar a linha central da fundação usando fios de prumo, tendo em atenção que no caso do uso de isolamento na parede, é necessário subtrair a espessura deste para o interior da parede. Como ponto de partida deve-se usar o local onde os fios de prumo se cruzam e montar o primeiro ferro. Em seguida, medem-se espaçamentos específicos e colocam-se os restantes. Não devem ser colocadas estas armaduras onde se projetam aberturas de portas, colocando a última 50 milímetros antes da abertura.

A parede irá ser montada a partir de módulos de três painéis, facilmente montados na mesa de trabalho contruída a partir das caixas de transporte fornecidas pela Octaform. Para isso, três painéis são colocados na mesa com a face interior voltada para cima e inserem-se quatro conectores nas ranhuras dos painéis. Depois inserem-se mais três painéis nos conectores, com a face interior voltada para baixo

e são colocados conectores interiores especiais ou ligadores a 45° no caso de existir isolamento. O processo está ilustrado nas figuras 20 e 21.

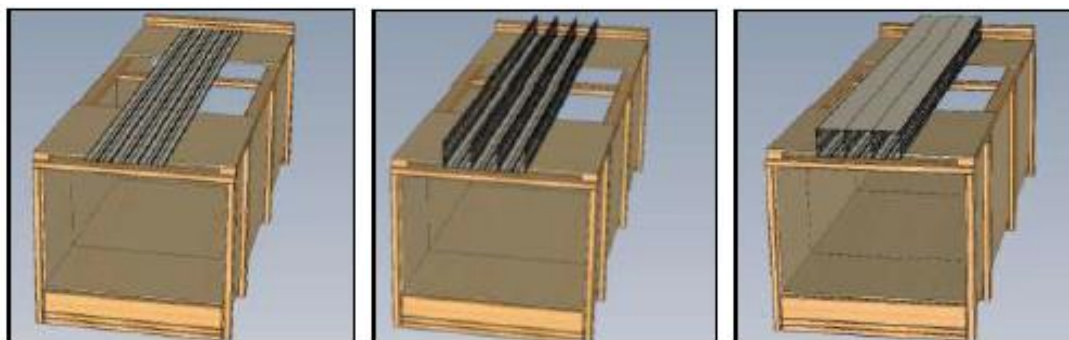


Fig.20 – Processo de montagem dos painéis Octaform

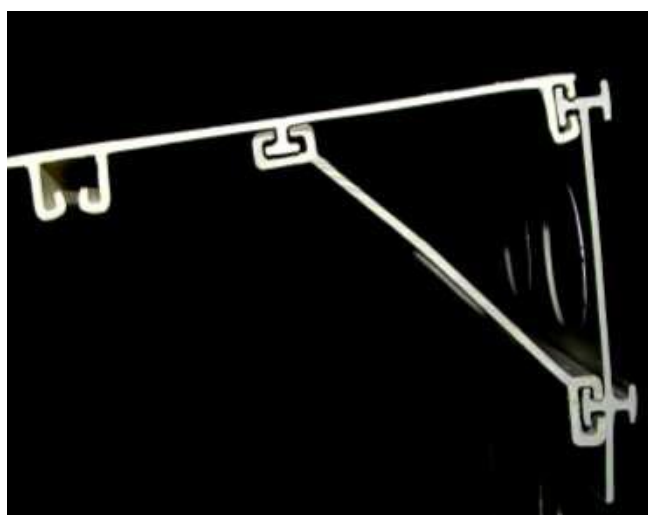


Fig.21 – Posicionamento do ligador a 45°

Os módulos já montados devem ser transportados e colocados deitados numa área elevada de preferência seca, nunca empilhando mais de três módulos em altura, para evitar danos nos painéis provocados por uma queda.

4.3.1.4. Escoramento

O escoramento é um passo importante para a montagem das paredes Octaform e deve ser dada especial atenção ao seu alinhamento e nivelamento, já que se irá refletir na própria parede. Existem diversos métodos para fazer o escoramento, incluindo madeira, estruturas metálicas, entre outras. Para a escolha do melhor método, será necessário ter em consideração a altura das paredes, o clima local, as condições do solo, as pressões geradas pela betonagem e as características gerais do edifício. A montagem do sistema Octaform será daqui para a frente exemplificada com uma estrutura de escoramento em madeira (salvo situações excepcionais devidamente identificadas), não sendo a sua utilização obrigatória. No anexo A2 ilustram-se alguns exemplos de escoramentos possíveis para o sistema Octaform.

4.3.1.5. Montagem da parede

A montagem das paredes deve ser iniciada pelos cantos, verificando o alinhamento e nivelamento do escoramento e colocando o primeiro módulo sobre as armaduras de ligação da fundação. O módulo deve ser alinhado com o canto do escoramento e pregado a este no topo e no fundo. Em seguida devem-se agrupar quatro a seis conectores e colocá-los na extremidade do painel já instalado. Inserem-se armaduras horizontais dobradas nos orifícios dos conectores com espaçamentos pré-determinados e separam-se os conectores arrastando-os na direção da parede sem qualquer painel. Coloca-se no canto dessa parede um painel de 150 milímetros no lado do escoramento e juntam-se os cantos dos conectores com juntas próprias fornecidas pela Octaform. No final instalam-se os restantes painéis do lado interior e exterior e puxa-se a parede de ambos os lados com firmeza. Este processo encontra-se ilustrado na figura 22.

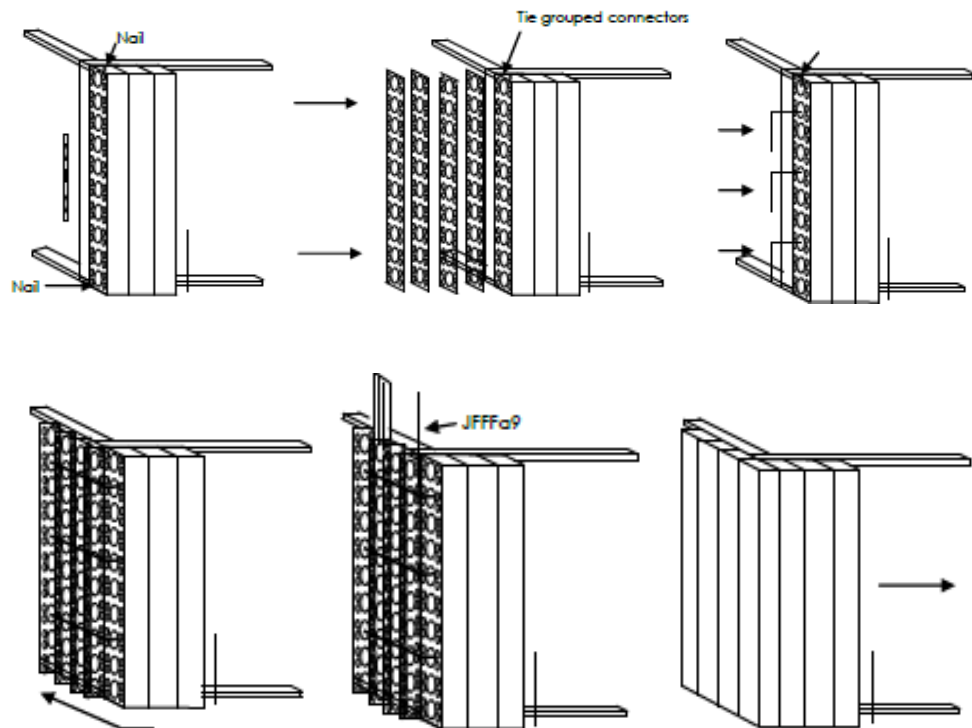


Fig.22 – Montagem do sistema Octaform a partir de um canto

Após a montagem do canto, a parede pode ser erguida de ambos os lados ao mesmo tempo. O próximo módulo deve ser colocado a 150 milímetros do painel de canto previamente instalado e os dois serão ligados por um painel do lado do escoramento com o mesmo tamanho (150 mm). No painel instalado, devem ser colocados ligadores a 45°, que farão a ligação entre os conectores e o respetivo painel. A parede deve ser puxada com firmeza para o lado em que se está a trabalhar, de modo a que as juntas abram cerca de 3 milímetros. O novo módulo é então pregado no topo ao escoramento e nivelado. Aproximadamente, a cada 6 metros, deve ser colocada uma guia de madeira na parte exterior, que irá ajudar a manter o alinhamento da parede. Deve-se proceder da mesma forma para os módulos seguintes. As figuras 23 e 24 ilustram o processo descrito.

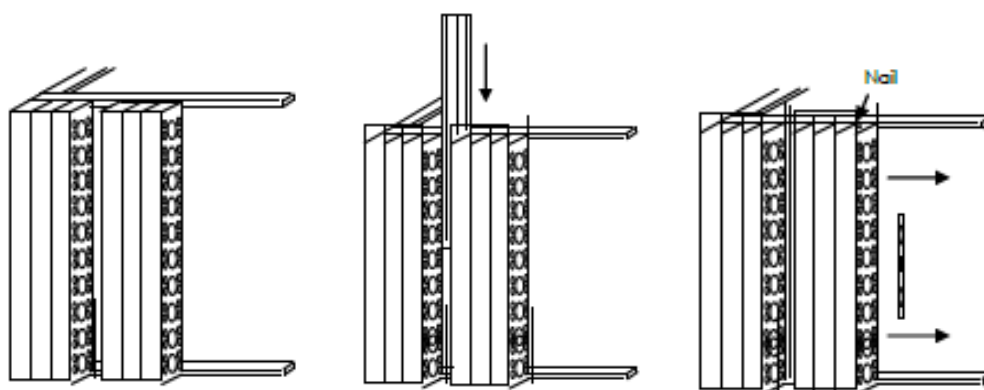


Fig.23 – Montagem da zona corrente da parede Octaform



Fig.24 – Montagem de guia no exterior da parede Octaform

As interseções de parede têm um procedimento semelhante ao dos cantos, devendo-se instalar de um lado os painéis, fazendo depois a rotação dos conectores para a parede perpendicular e apenas no fim colocar os painéis do outro lado e fazer a ligação dos cantos dos conectores, como se ilustra na figura 25.

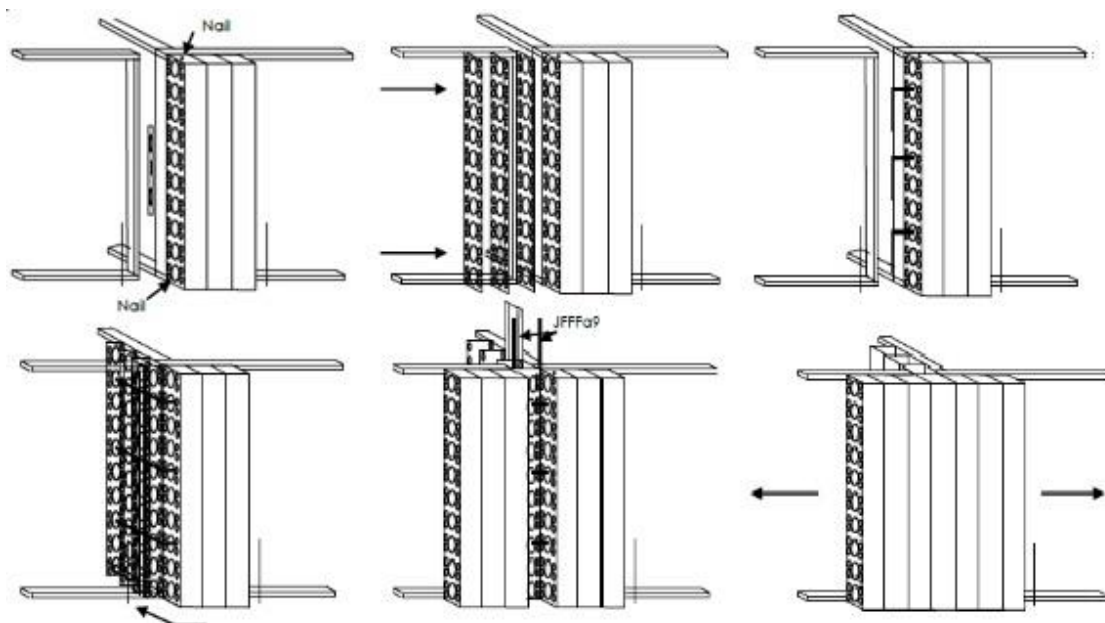


Fig.25 – Montagem do sistema Octaform em interseções de paredes

No escoramento de cantos e das interseções, será necessário fazer alguns ajustes para garantir o correto nivelamento da parede. O aspeto final de uma parede típica Octaform encontra-se ilustrado na figura 26 e no anexo A2 estão ilustradas as peças necessárias e o esquema dos escoramentos mencionados.

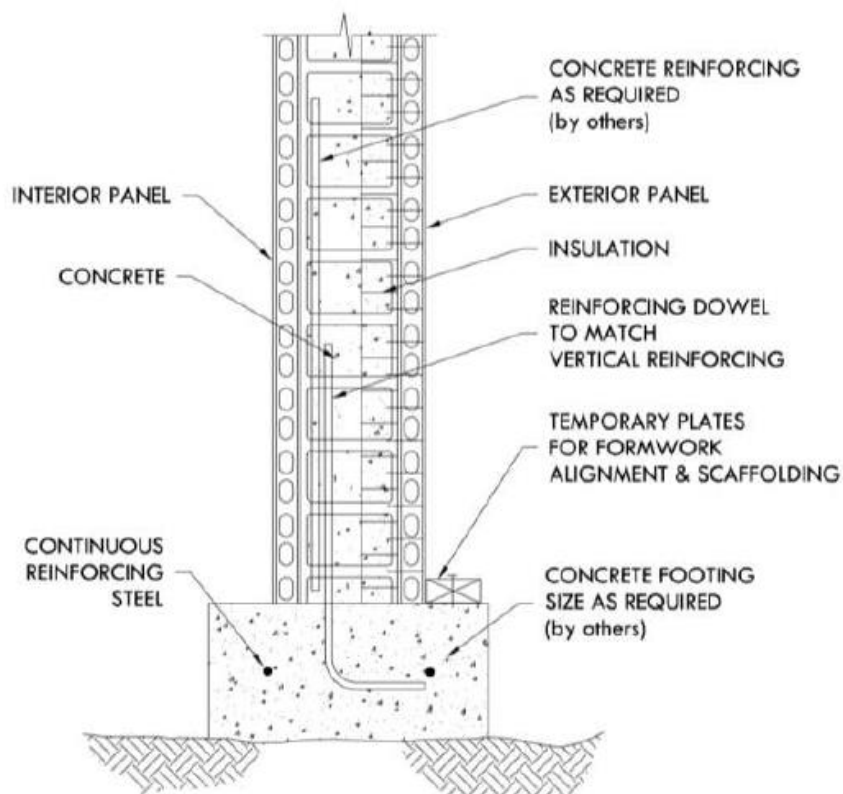


Fig.26 – Disposição de uma parede típica Octaform

4.3.1.6. Montagem das aberturas

É necessária a colocação de aros em todas as aberturas, para resistir à pressão da betonagem e impedir que o betão escape para fora das formas. Estas podem ser feitas de madeira, metal ou plástico e devem ser mantidas na estrutura o máximo de tempo possível.

Para a montagem dos aros é necessário marcar a localização com duas tábuas de madeira no início e no fim da localização da janela. Instalam-se dois módulos, um de cada lado da janela e procede-se ao corte dos conectores e perfis para a sua colocação por baixo e por cima da abertura. Instalam-se os painéis primeiro na parte de baixo da abertura trabalhando de fora para dentro em ambos os lados, completando no centro se necessário com painéis mais pequenos. Em seguida devem ser colocadas as armaduras e o isolamento se projetado, na parte inferior. Puxa-se a parede com firmeza para ajustar as ligações e o aro pode agora ser colocado na abertura, colocando escoramento adicional no seu interior. No final instalam-se as armaduras no topo da janela e montam-se os painéis, mais uma vez trabalhando de fora para dentro, completando se necessário com painéis de tamanho mais reduzido. Esta montagem é ilustrada na figura 27. Os detalhes relativos à colocação de aros em madeira e metal estão ilustrados no anexo A2.

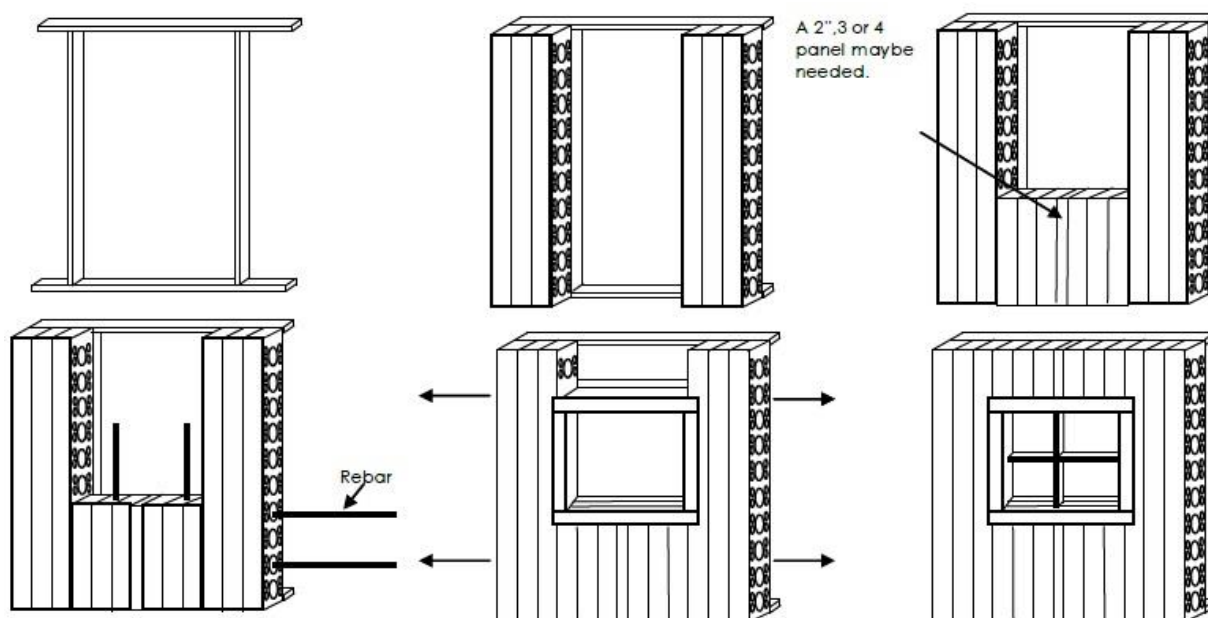


Fig.27 – Montagem de aros em janelas

Os aros de madeira para portas seguirão o mesmo processo das janelas, diferindo apenas no aspeto de não haver colocação de painéis por baixo da abertura, o que se ilustra na figura 28. É necessário referir que se se optar por uma estrutura metálica, a estrutura deve ser aparafusada à laje como se ilustra na figura 29.

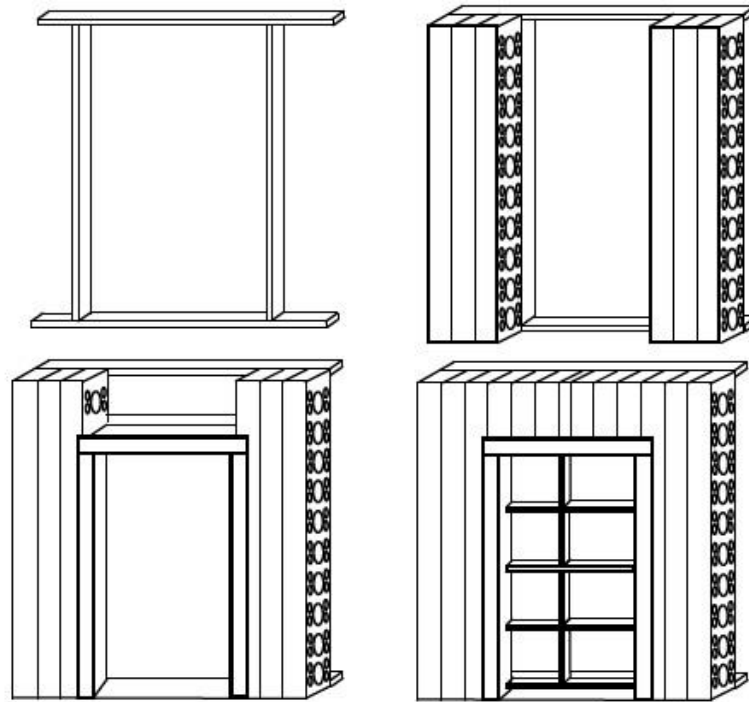


Fig.28 – Montagem de aros em portas

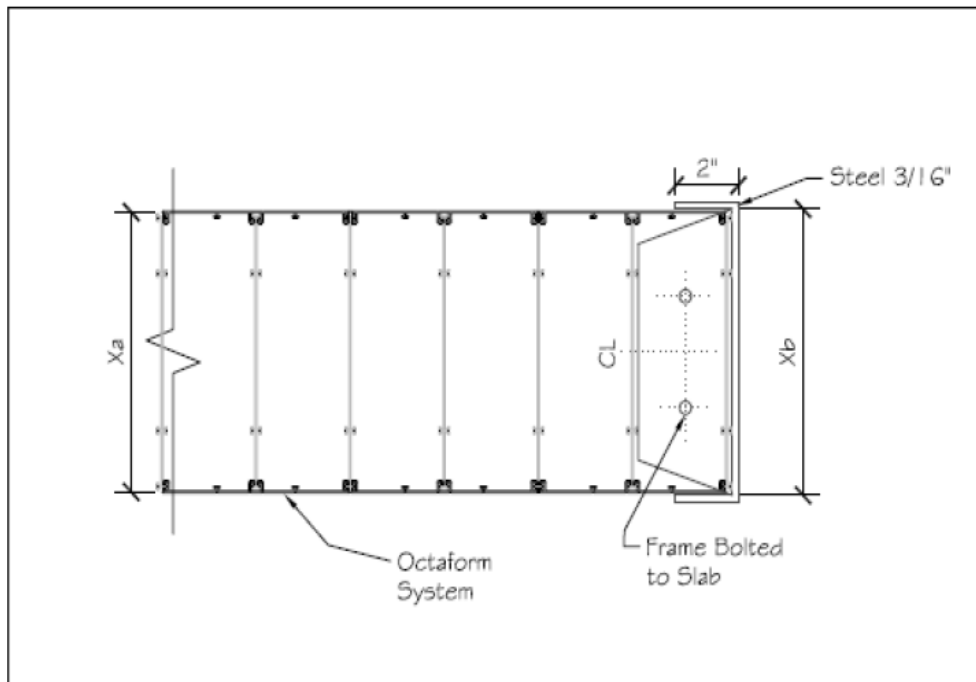


Fig.29 – Pormenor de ligação de aro metálico à laje da fundação (corte horizontal)

Em casos em que uma abertura não seja projetada ou não se tenha executado aquando da montagem, esta pode ser executada ainda antes da betonagem. Podem-se cortar os painéis no local projetado para

abertura, expandindo na horizontal os cortes na zona do lintel para permitir o encaixe de um reforço metálico. Este processo é ilustrado na figura 30.

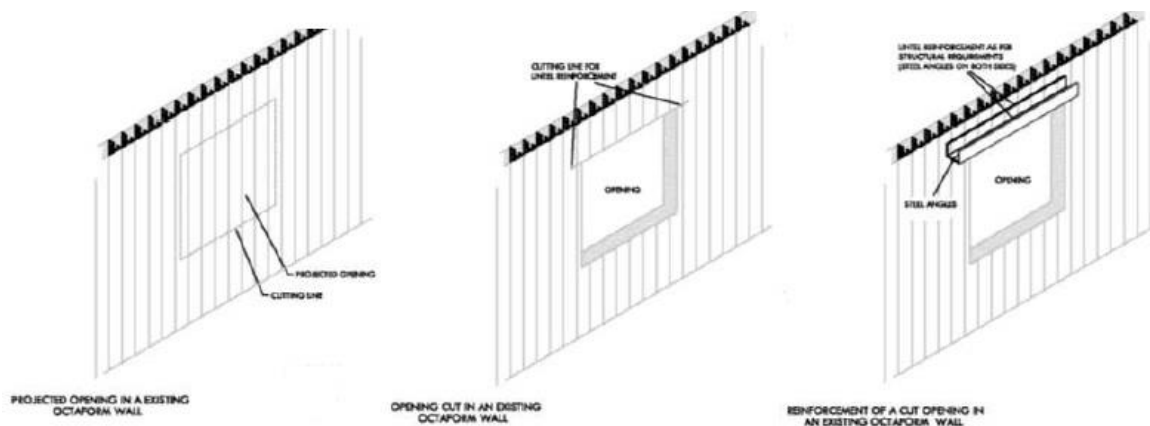


Fig.30 – Abertura de uma janela pós-montagem

4.3.1.7. Montagem de pilastras

O sistema Octaform prevê também a construção de pilastras na estrutura, existindo diversos tipos e múltiplas maneiras de os construir. Os desenhos fornecidos pela Octaform irão ajudar à montagem desses elementos. As pilastras devem ser montadas na mesa de trabalho e depois colocadas no local que se pretende, instalando de seguida painéis de parede dos lados salientes. No caso de existirem vários, será necessário trabalhar de fora para dentro, ou seja para o meio das pilastras, de forma a poder completar no meio com painéis de tamanho reduzido. Em seguida colocam-se e amarram-se as armaduras e escora-se o pilar, estando pronto para a betonagem. Na figura 31 está ilustrada uma pilastra assim como o respetivo escoramento.

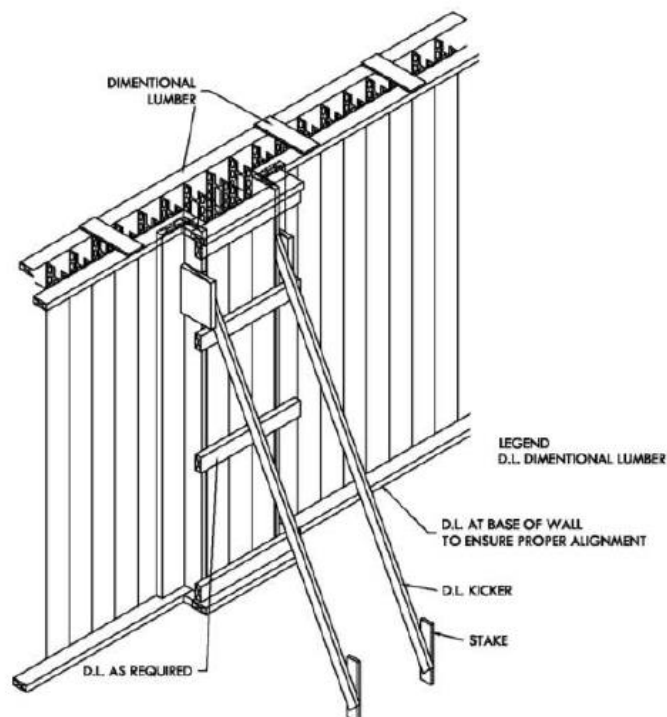


Fig.31 – Esquema de escoramento de pilastras

4.3.1.8. Montagem de saliências de suporte

A Octaform prevê a construção de saliências de suporte, que podem ser usadas para apoiar inúmeras aplicações, como pavimentos de madeira, pavimentos de betão ou apenas um revestimento de tijolo. Na figura 32 está ilustrado um exemplo de uma saliência usada para apoiar um revestimento exterior de tijolo. No anexo A2 encontra-se ilustrada a forma de escoramento correta para estas situações.

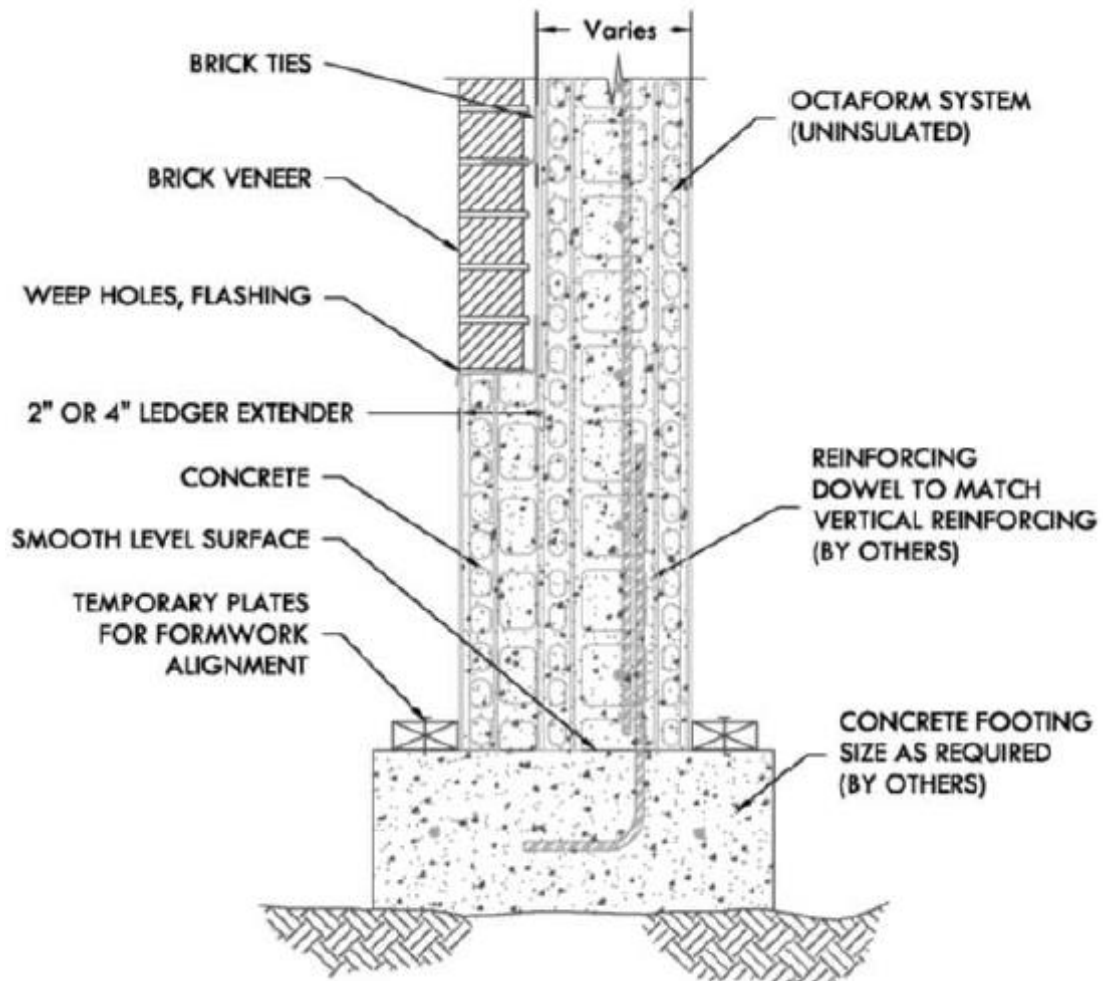


Fig.32 – Detalhe de uma saliência de suporte

4.3.1.9. Colocação de armaduras

Para a colocação das armaduras é necessário verificar primeiro o alinhamento dos conectores para garantir o seu correto posicionamento. Desmontam-se os painéis necessários e faz-se deslizar a armadura horizontal de um lado, nunca colocando ferros mais longos que 5,2 metros. Coloca-se a armadura vertical, devendo ser colocada nas mesmas células que as armaduras de ligação da fundação. As armaduras verticais na zona das aberturas são colocadas aquando da sua instalação como foi referido anteriormente. Para finalizar fazem-se as amarrações das armaduras e reinstalam-se os painéis retirados.

4.3.1.10. Colocação de isolamento

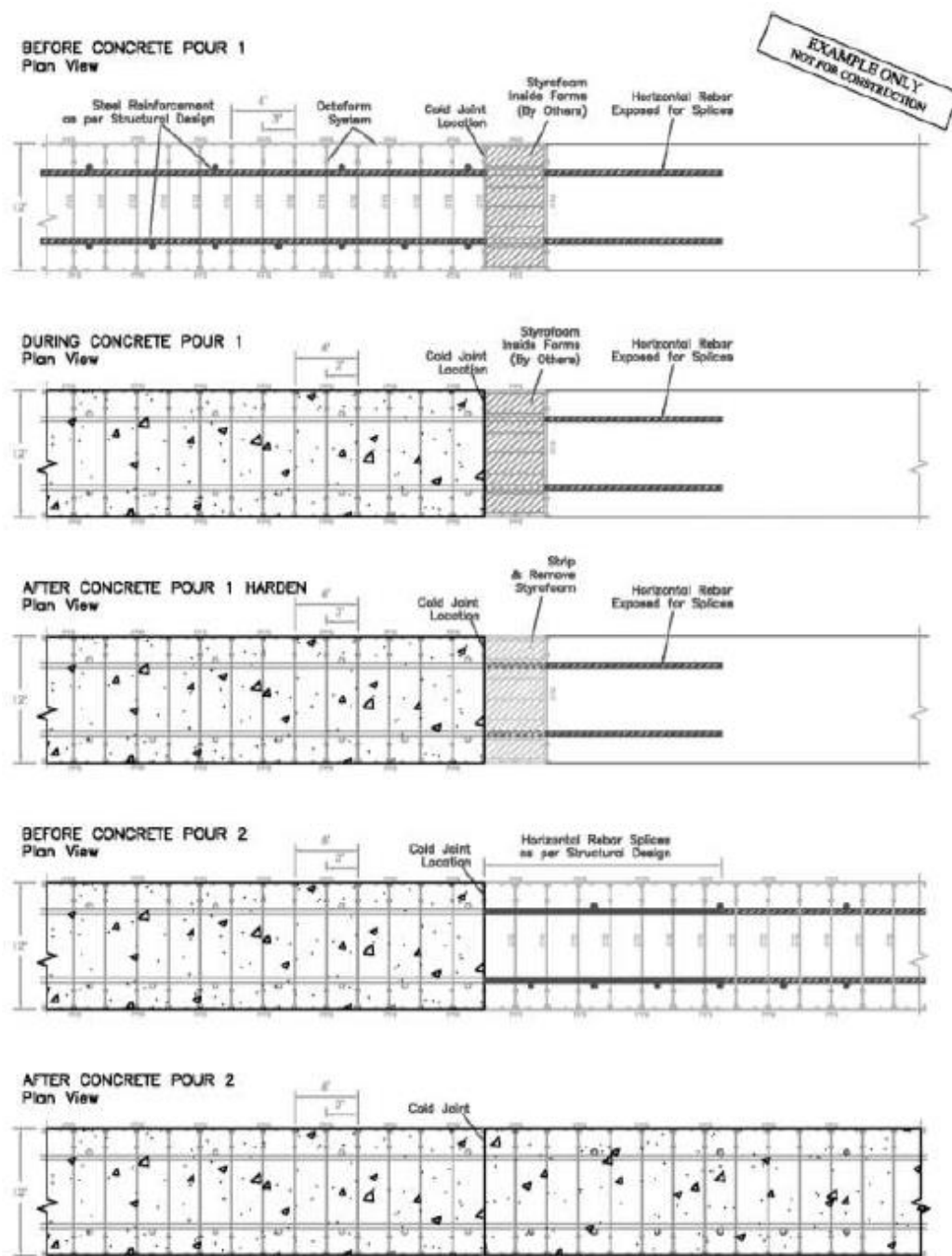
O isolamento fornecido pela Octaform consiste em placas de poliestireno extrudido (EPS), apesar de poderem ser utilizados outros, e vem em placas de 2,4 metros de altura por 150 milímetros de largura, sendo a sua espessura variável e determinada pelos valores do coeficiente de transmissão térmica pretendido. Estes são colocados no topo da parede até chegar ao solo e cortados à medida da altura da parede. Para os painéis cuja largura seja diferente de 150 milímetros, as placas terão também que ser cortadas na obra.

4.3.1.11. Juntas de betonagem

As juntas de betonagem, designadas pelo fabricante do sistema por *cold joints*, são usadas quando se quer que a betonagem pare num determinado ponto. As melhores secções para isso acontecer são ou numa intersecção de paredes em T ou num canto. Para criar uma *cold joint*, enche-se a última célula disponível com poliestireno extrudido, que funciona como um tampão, e faz-se passar a armadura horizontal através deste. Após a betonagem, corta-se a rede dos conectores e retira-se o poliestireno. Colocam-se novos conectores e instala-se mais parede para a frente. O detalhe e vista geral de uma *cold joint* encontram-se ilustrados na figura 33 e a sequência de execução do processo na figura 34.



Fig.33 – Detalhe (esq.) e vista geral (dir.) de uma *cold joint*

Fig.34 – Sequência de execução de uma *cold joint*

4.3.1.12. Construção de um tanque com o sistema *SNAPLockTight*

O sistema *SNAPLockTight* (SLT) é um sistema da Octaform, totalmente estanque ao ar e à água, usado para resistir a ambientes mais hostis, propícios à formação de bactérias e bolores. Para a demonstração do mecanismo inerente ao sistema, apresenta-se em seguida um exemplo de montagem de um tanque de água. No caso específico do tanque de água, as paredes serão curvas e poderão ter que ser utilizadas diferentes tamanhos de painéis alternados.

Para o fecho das juntas especiais SLT, a Octaform fornece uma ferramenta especial de fecho, a *Zip Tool* (figura 35). É uma ferramenta multi-facetada e pode ser modificada para encaixar em qualquer configuração de painéis ou conectores. Pode também ser amarrada a uma corda ou poste, permitindo o fecho de juntas a alturas elevadas ou no interior de paredes já fechadas.

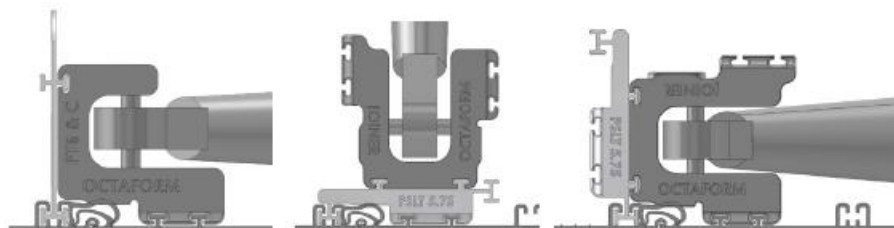


Fig.35 – SLT *Zip Tool*

Os painéis SLT são formados por ligações macho e fêmea que se conectam entre si. Cada painel contém uma de cada dessas ligações para permitir o encaixe noutra peça semelhante. Para a pré-montagem dos painéis, coloca-se um painel com a face interior voltada para cima na mesa de trabalho e faz-se deslizar a sua ligação macho (parte superior do painel) na ligação fêmea de um segundo painel (parte inferior do painel). Levantam-se ligeiramente os painéis formando um pequeno ângulo na sua interseção, permitindo um fácil encaixe das duas partes (figura 36).



Fig.36 – Início do encaixe dos topos das ligações macho-fêmea em painéis SLT

Quando o segundo painel é puxado até ao fim e as extremidades dos dois painéis estão alinhadas, deve-se baixar os painéis deixando-os pousar na mesa. Estes irão ficar um pouco levantados, apenas ficando completamente planos após os próximos passos (figura 37).



Fig.37 – Encaixe parcial dos painéis SLT

Para iniciar a segunda (e final) fase do mecanismo SLT, deve-se usar a palma da mão para pressionar nos primeiros 5 a 7,5 centímetros da ligação. Deste modo, essa ligação parcialmente encaixada irá permitir a inserção da ferramenta *Zip Tool*. A ferramenta irá deslizar facilmente nas calhas do conector (adjacente à ligação) e passar por cima da zona de encaixe. A ferramenta deve ser deslizada, aplicando pressão, até ao fim dos painéis e deve-se sentir o mecanismo a encaixar ao longo destes. A

junta de ligação deve ser inspecionada no final para garantir o encaixe completo e a sua estanquidade. Este par de painéis é posto de lado e deve-se repetir a manobra até termos todos os painéis necessários à construção do tanque. O encaixe da ferramenta na junta SLT está ilustrado na figura 38.

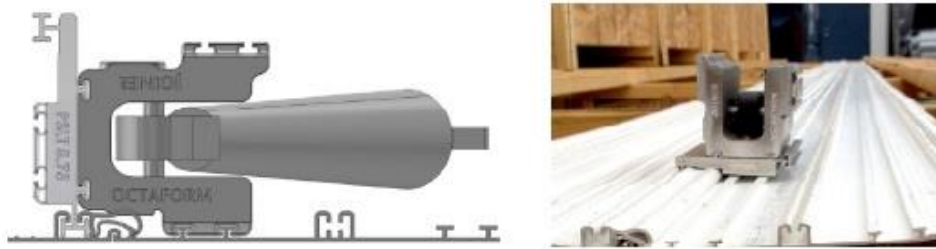


Fig.38 – Encaixe final com a *Zip Tool* dos painéis SLT

A montagem de um tanque requer pelo menos dois trabalhadores: um no solo e outro no andaime. O trabalhador localizado no solo eleva a primeira secção pré-montada até ao segundo trabalhador no andaime com a face lisa virada para o interior do tanque. Desde o topo, faz-se deslizar dois conectores nas calhas apropriadas. Isto dará estabilidade a esta primeira secção permitindo o seu nivelamento. Após o nivelamento, o painel é pregado no topo e no fundo à estrutura de escoramento.

Os restantes painéis irão ser adicionados pela parte de cima da estrutura pelos trabalhadores nos andaimes. A ferramenta *Zip Tool* irá ser usada pelos instaladores tanto no andaime como no solo e se a altura do tanque o exigir, pode ser presa uma corda (com 2,5 vezes o tamanho dos painéis) para manobrar a ferramenta. Esta não deve ser alvo de puxões ou sacudidelas, já que se corretamente encaixada deverá deslizar facilmente na calha apropriada. A cada 1,2 metros os painéis devem ser nivelados e pregados no topo da estrutura de escoramento. Neste momento poderão ser adicionados os conectores à parede interior. Este processo é ilustrado na figura 39.



Fig.39 – Montagem da parede interior do tanque

Os documentos e desenhos fornecidos pela Octaform aos clientes especificam a combinação precisa de painéis para fechar a parede circular, de forma a conectar perfeitamente aos painéis exteriores. No entanto, na prática, as ligações SLT não permitem grande margem de manobra em termos de erros de medição e é provável que não seja possível utilizar essa combinação. Apesar de ser mais fácil o uso de um tamanho de painel em toda a parede e aquando da altura de fechar a parede, fazê-lo com um painel

que encaixe no espaço que falta, esta situação não é ideal e pode complicar desnecessariamente a configuração dos conectores e do isolamento nessa secção sendo por isso preferível uma variação equilibrada de painéis de diferentes tamanhos. Isto é, em vez de usar um painel de 5 centímetros para fazer o fecho de uma abertura com a mesma medida, deve-se, nas secções anteriores, usar uma configuração de painéis maiores que permitam chegar ao final e encaixar. Para isso a Octaform recomenda que se pare a execução da parede quando faltarem cerca de 3 metros para o fecho e que se façam os cálculos para ajustar a configuração de painéis necessários para ocupar os 3 metros.

O painel de ligação final irá ter um mecanismo de ligação diferente do habitual, para evitar ajustes desnecessários tanto nos andaimes como no escoramento. Este consiste numa peça (*Clip*) que permite um encaixe num local com pouca folga. O painel será ligado da mesma forma que os outros numa fase inicial usando a *Zip Tool*. O *Clip* será depois encaixado por cima da ligação e deslizado sobre ela manualmente nos primeiros 5 a 7,5 centímetros. A *Zip Tool* pode então ser modificada para fazer o encaixe específico do *Clip* e irá deslizar sobre ele em toda a altura da parede garantindo o encaixe perfeito do último painel. O processo de montagem do último painel encontra-se ilustrado na figura 40.

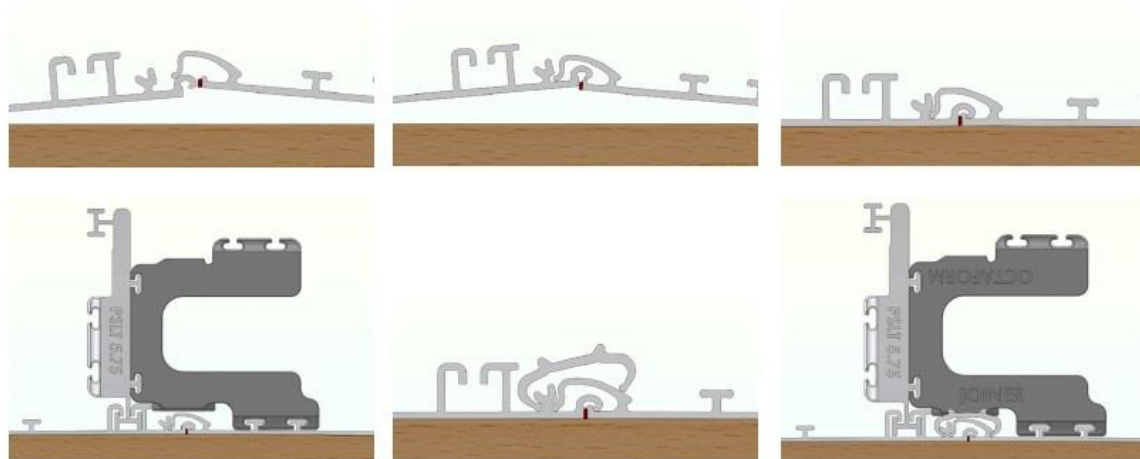


Fig.40 – Montagem do painel de ligação final

A colocação de armaduras é em tudo igual à construção com painéis normais, devendo ser verificadas as colocações corretas dos conectores e as amarrações das armaduras horizontais às verticais.

A parede exterior é normalmente montada com painéis sem ligação SLT e segue o procedimento já descrito anteriormente. No caso de serem projetados painéis com ligação SLT (por exemplo tanques de paredes partilhadas) a montagem da parede exterior irá requerer uma abordagem diferente.

Devido à inacessibilidade da ligação no interior da parede, por parte do trabalhador que se encontra no solo, a *Zip Tool* terá de ser fixa a um poste rígido, longo o suficiente para chegar à base da parede. Isto permitirá ao trabalhador situado no andaime fazer o encaixe da ligação SLT sozinho.

Tal como na montagem dos painéis normais, o isolamento será cortado para ser inserido nas células da parede apropriadas. A diferença nos painéis com ligação SLT está na colocação de peças especiais (figura 41) para impedir os movimentos do isolamento durante a betonagem, garantindo o seu correto funcionamento.



Fig.41 – Peças de fixação do isolamento

4.3.1.13. Aplicações especiais para Biogás

As ligações SLT são desenhadas para serem estanques à água e a gases sem a necessidade de selantes adicionais. No caso de aplicações para Biogás, no entanto, um selante secundário é necessário sobre as ligações na zona em contacto com o gás, devido às suas características específicas. Esta aplicação deve ser feita após a betonagem, para assegurar que, no caso do comprometimento de uma ligação (durante o manuseamento, montagem ou betonagem), o tanque irá permanecer estanque.

4.3.1.14. Acabamento e lavagem

Para o acabamento no topo da parede, devem ser colocados 150 milímetros de betão acima da cofragem e, usando uma espátula, deve ser alisada a superfície deixando-a nivelada com a parede. As paredes devem ser lavadas com um jato de água sobre pressão antes da betonagem e imediatamente após.

4.3.1.15. Compatibilidade com vigas de cobertura em madeira

Para garantir a correta instalação das vigas, uma junta de espuma e uma tábua de madeira (de dimensões mínimas de 5x15 centímetros) devem ser colocadas no topo da parede. Esta tábua deve ser ancorada à parede com âncoras metálicas em J previamente instaladas (antes da betonagem) ou furando o topo da parede e colocando âncoras em cunha. Um exemplo de aplicação encontra-se ilustrado na figura 42.

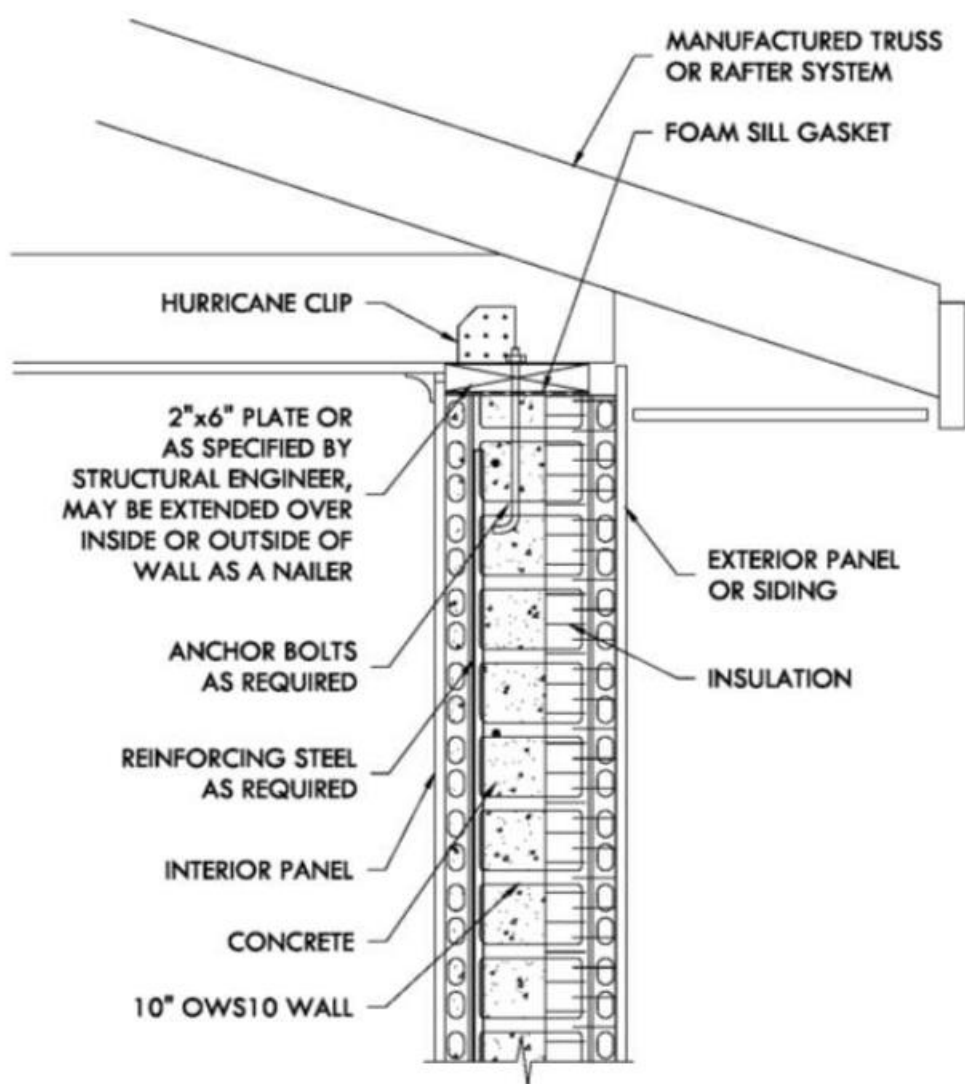


Fig.42 – Detalhe da ligação da parede com vigas de cobertura madeira

4.3.1.16. Compatibilidade com tetos metálicos

A instalação de tetos metálicos pode ser feita no topo ou a meio da parede. Para qualquer uma das instalações, devem ser feitas marcações e furações antes da betonagem, onde a ancoragem da estrutura metálica irá ser feita. Após a betonagem, colocam-se as âncoras ou parafusos no betão ainda fresco fazendo a vibração em volta desse local para consolidar o betão em volta do dispositivo. Um exemplo de instalação a meio da parede encontra-se ilustrado na figura 43.

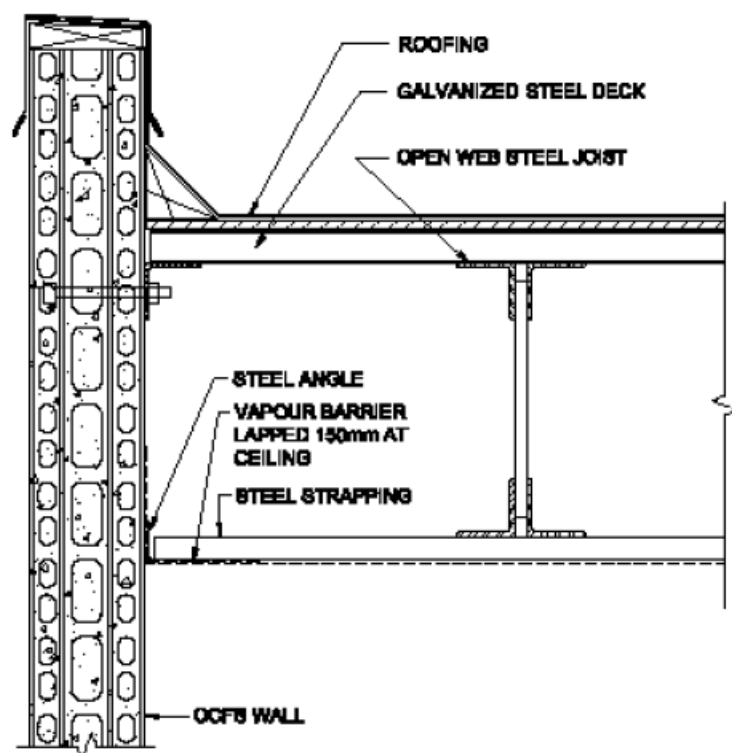


Fig.43 – Detalhe da ligação da parede com teto metálico a meio da parede

4.3.1.17. Compatibilidade com telhados ou pisos de betão aligeirados pré-fabricados

Para a instalação de pisos ou telhados pré-fabricados em betão será necessário cortar a cofragem Octaform de modo a permitir o apoio de uma laje (figura 44). Para isso uma guia de madeira será montada na altura requerida no lado a cortar, serrar os painéis e conectores necessários e efetuar a betonagem até essa altura. A laje será então apoiada e o espaço que sobra deve ser enchido com argamassa, como demonstrado na figura 45.



Fig.44 – Corte de painéis para apoio de laje pré-fabricada

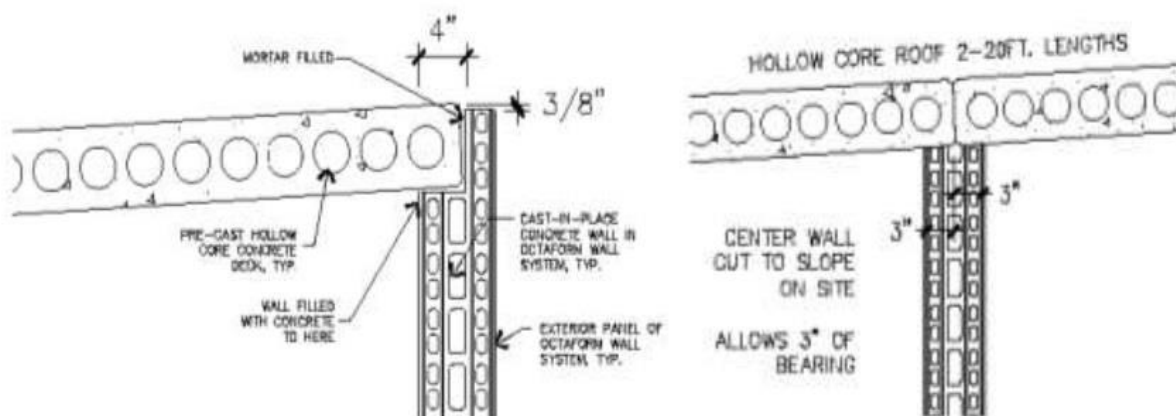


Fig.45 – Detalhe da ligação da parede com laje pré-fabricada

4.3.1.18. Compatibilidade com pisos de madeira

A instalação de soalhos de madeira necessita da prévia instalação de uma saliência de suporte, sendo depois semelhante à instalação dos tetos metálicos. Um exemplo da construção deste elemento encontra-se na figura 46.

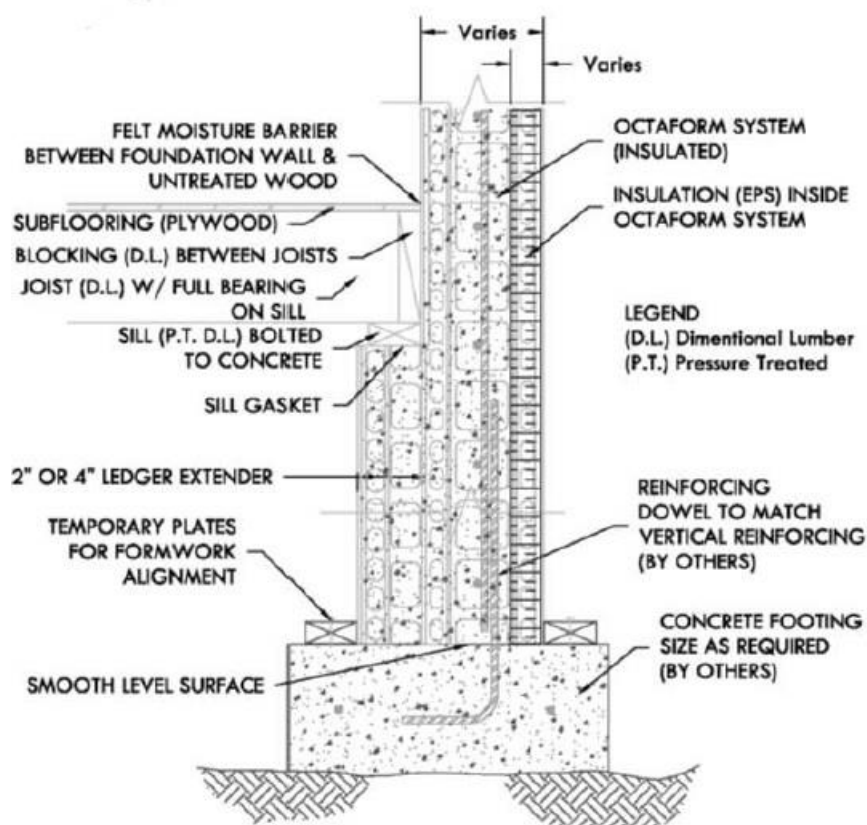


Fig.46 – Detalhe de ligação da parede com piso de madeira

4.3.1.19. Compatibilidade com lajes maciças em betão

A construção de lajes de betão implica também a existência de uma saliência de suporte. Devem ser previstas furações na parede, antes da betonagem, de modo a permitir que as armaduras da laje se prolonguem para dentro da parede. Pode ser usado qualquer método de cofragem para a laje. Na figura 47 ilustra-se a ligação de uma laje maciça com a parede Octaform.

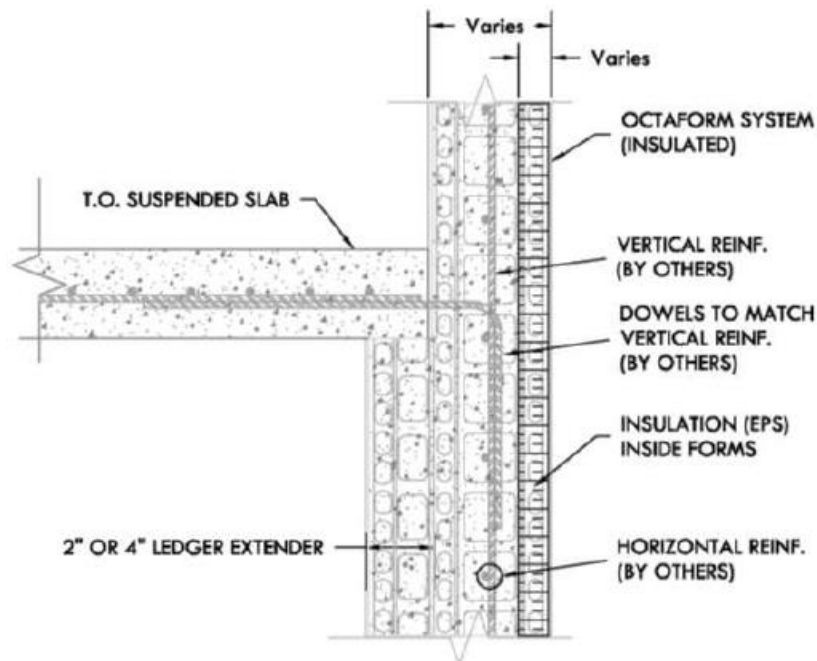


Fig.47 – Detalhe de ligação da parede com laje maciça

4.3.1.20. Compatibilidade com pisos metálicos

Os pisos metálicos seguem o mesmo processo dos tetos metálicos, havendo uma marcação e uma furação antes da betonagem, para a colocação das âncoras ou parafusos de suporte. Na figura 48 apresenta-se um exemplo de um piso metálico, para suporte de equipamentos.



Fig.48 – Exemplo de compatibilidade com piso metálico

4.3.1.21. Compatibilidade com paredes interiores leves

Poderão ser construídas paredes interiores leves, desde que instalando uma barreira pára-vapor entre a estrutura da parede interior e a parede Octaform. A estrutura deverá depois ser fixa à parede Octaform, com o método que se achar mais adequado. Um exemplo deste tipo de elemento está ilustrado na figura 49.



Fig.49 – Exemplo de compatibilidade com uma parede interior leve

4.3.1.22. Compatibilidade com isolamento pelo exterior (ETICS/EIFS)

O sistema Octaform é compatível com a execução de sistemas como ETICS ou EIFS. Para isso o isolamento pode ser mecanicamente fixo à cofragem de PVC ou colado com adesivos adequados. Este tipo de acabamento está ilustrado na figura 70.

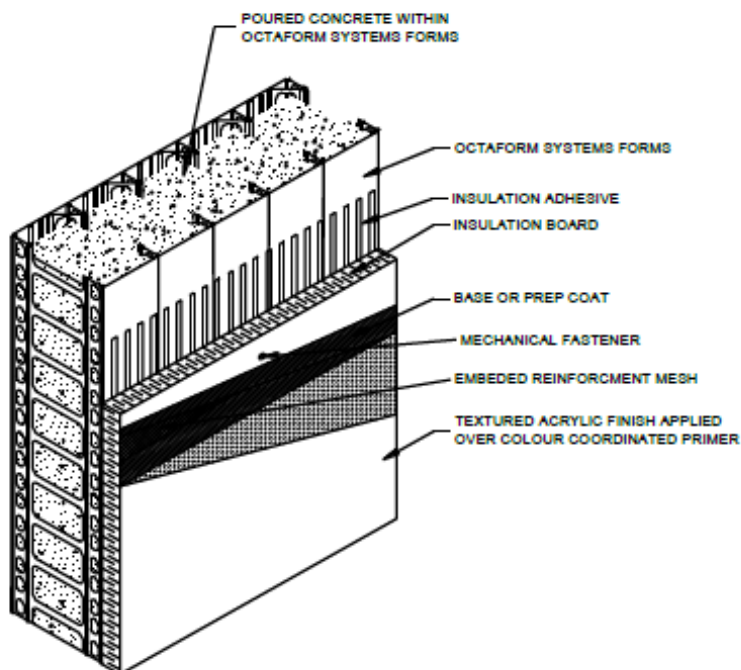


Fig.50 – Detalhe de colocação de sistema de isolamento pelo exterior

4.4. OUTRAS SOLUÇÕES

4.3.1. PILARES

As soluções para pilares seguem o mesmo conceito das paredes e consistem em tubos de PVC feitos à medida, que serão depois preenchidos com betão e armaduras. São, à semelhança das paredes, produtos leves e de fácil manuseamento não sendo necessária maquinaria pesada para a sua colocação [99] [100].

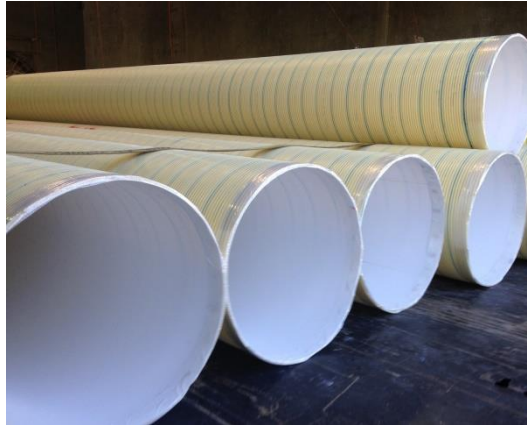


Fig.51 – Cofragem de PVC para pilares antes da montagem [101]

Depois da betonagem e do endurecimento do pilar, não é necessária a aplicação de um agente descofrante, devido às características de não-aderência do PVC. A cofragem pode ser cortada de cima a baixo e retirada como um todo, ou rasgando uma tira e puxando em espiral de forma rápida e fácil. Quando cortada de qualquer das formas, as peças desperdiçadas não representam um problema de segurança, visto que não ficam pontas afiadas passíveis de pôr em risco os trabalhadores [99] [100].



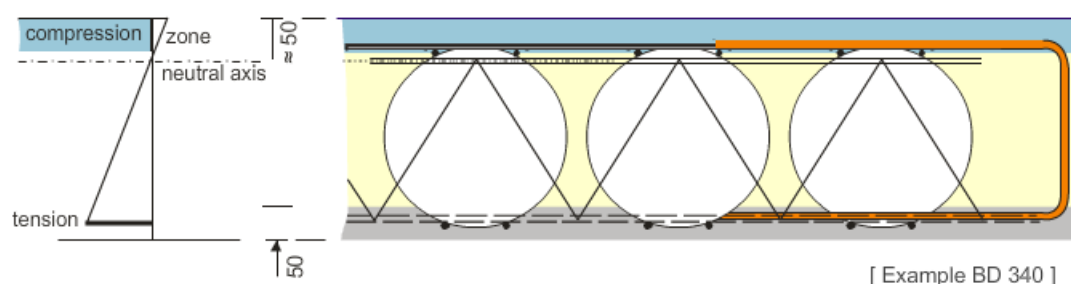
Fig.52 – Remoção de cofragem de pilares [100]

Devido à facilidade de remoção da cofragem, esta pode ser deixada até ao último momento ou mesmo permanecer no local (SiP). A cofragem SiP é utilizada para casos em que seja preciso proteger o pilar de atmosferas ou solos altamente corrosivos, submersos ou quaisquer condições que ameacem a estrutura. No caso de ser utilizada como cofragem SiP, esta pode ser colocada do avesso, de modo a que as indentações se interliguem com o betão [99] [100].

As cofragens para pilares são normalmente feitas à medida, tanto para diâmetro como para altura, eliminando assim possíveis desperdícios, sendo normalmente produzidas em qualquer diâmetro entre 250 e 2500 milímetros. O facto de serem produzidas com medidas exatas, aumenta a rapidez de execução, visto não serem precisos cortes adicionais ou outros ajustamentos [99] [100].

4.3.2. LAJES

O PVC pode também ser integrado em cofragens de lajes, mas num conceito bem diferente das soluções anteriores: o sistema *BubbleDeck*. Este sistema consiste numa plataforma de esferas de PVC ocas inseridas uniformemente entre duas redes de armadura bidirecional e que eliminam uma zona de betão sem funções estruturais. Isto é, reduz a carga da laje, mantendo a resistência estrutural. Isto permite uma redução de 35% a 50% do peso total da laje, mantendo as mesmas capacidades estruturais de uma laje maciça [102] [103].

Fig.53 – Distribuição de tensões no sistema *BubbleDeck* [102]

No quadro 13 podemos verificar a relação entre o comportamento estrutural e o peso das lajes com o sistema *BubbleDeck* em comparação com uma laje maciça.

Quadro 13 – Comparação de sistema *BubbleDeck* com uma laje maciça [104]

| | Laje maciça | Sistema <i>BubbleDeck</i> (mesma espessura da laje maciça) | Sistema <i>BubbleDeck</i> (espessura correspondente à mesma capacidade de carga da laje maciça) |
|---------------------------------------|-------------|--|---|
| Valores relativos em % da laje maciça | | | |
| Capacidade de carga | 25 | 50 | 25 |
| Peso da laje | 75 | 50 | 40 |
| Peso da laje / Capacidade de carga | 3:1 | 1:1 | 1,5:1 |
| Valores absolutos em % da laje maciça | | | |
| Capacidade de carga | 100 | 200 | 100 |
| Peso da laje | 100 | 65 | 50 |
| Aumento da eficiência do betão | - | 300 | 200 |

Este sistema pode ser aplicado em qualquer estrutura em que possa ser utilizada uma laje maciça e é também compatível com pós-tensionamento. Para vãos superiores a 15 metros a empresa fornece, de fábrica, uma solução de pós-tensionamento integrada na laje *BubbleDeck* [102].

A empresa tem três modos de fornecer a laje em questão: Módulos de Armaduras, Pré-lajes ou Lajes acabadas [102].

Os Módulos de Armaduras são a base do sistema e consistem apenas nas duas redes de armadura com as esferas no meio. Estas serão colocadas em cofragens tradicionais e betonadas na obra, após a colocação de armaduras adicionais. Este tipo de laje é ideal para pisos térreos, obras de reabilitação ou em casos de acesso complicado, pois os módulos podem ser transportados e posicionados manualmente [102].



Fig.54 – Módulos de Armaduras *Bubbledeck* [105]

As Pré-lajes consistem em secções de 2,4 metros de largura, que formarão uma laje maior. Estas são fornecidas com uma camada de 60 milímetros betonada em fábrica na parte inferior dos módulos de armaduras. Os elementos são colocados sobre escoramentos provisórios, as armaduras adicionais são posicionadas e a segunda etapa de betonagem é executada. É o tipo mais comum de lajes com este sistema e necessita de uma grua para ser colocada em obra devido ao seu peso [102].



Fig.55 – Pré-Laje com sistema *BubbleDeck* [106]

As lajes acabadas são, como o nome indica, totalmente betonadas em fábrica e seguem para a obra dessa maneira. São mais utilizadas em locais como varandas ou escadarias [102].

O sistema permite tirar partido de uma série de benefícios, entre os quais [103]:

- O sistema permite uma maior liberdade de conceção nas lajes, com formas planas não retilíneas;
- A incorporação destas esferas permite que se construam lajes com vãos mais longos;
- O tamanho e capacidade das fundações pode ser reduzido, já que existe uma redução de até 50% de peso nas lajes;
- O uso de betão é significativamente reduzido, substituindo em média 100 Kg de betão por 1 Kg de PVC reciclado, sendo portanto uma opção ambientalmente sustentável;

- A mudança para este sistema não implica medidas adicionais contra incêndio, já que a estrutura fornece de 1 a 2 horas de total proteção dependendo da espessura do betão projetada;
- Condutas e outro tipo de sistemas como pisos radiantes podem ser incorporados na laje de fábrica;
- A eliminação de vigas a meio vão, significa uma redução de custos e problemas relacionados com trajetos à volta ou através da estrutura;
- Escoramentos cruzados e suportes intermédios são eliminados;
- Usa menos elementos de construção que outras soluções leves como pisos metálicos, reduzindo assim o tempo de construção;
- Consegue uma redução de custos entre 2,5% a 10% do custo total de uma obra.

5

SISTEMAS INOVADORES À BASE DE PVC

5.1. INTRODUÇÃO

O mercado do PVC tem vindo a evoluir, de forma a fornecer soluções cada vez mais abrangentes em várias frentes, nomeadamente na construção civil. Nos últimos anos, os avanços significativos na formulação do material tem resultado em melhorias notórias no seu comportamento ao nível das principais características, sejam elas relacionadas com a resistência mecânica, resistência ao fogo ou simplesmente a manutenção dessas características durante longos períodos. Essas melhorias traduzem-se em novos usos e novos produtos, aproveitando os pontos fortes do material, mas em alguns casos evidenciando também as suas limitações. A motivação deste capítulo é introduzir esses produtos que circulam no mercado, descrevendo o funcionamento de cada um, evidenciando esses mesmos pontos, de forma a avaliar o desempenho dessas soluções.

Um dos produtos com maior crescimento de mercado, são os decks exteriores em PVC ou em material compósito à base de PVC. Estes resolvem uma série de problemas reconhecidos aos tradicionais decks de madeira, fazendo uso da resistência a agentes biológicos e químicos do PVC, o que se torna um atrativo na hora de escolher um sistema de deck exterior. No entanto, como será referido mais à frente, esta solução evidencia também algumas fragilidades a nível de conforto térmico e /ou visual, deixando espaço para melhorias do material nesse campo. De resto e apesar das suas fragilidades, é já uma solução bastante utilizada e popular, atingindo uma percentagem do mercado de decks nos Estados Unidos da América, na ordem dos 30% [107].

O PVC tem sido também utilizado como material de revestimento, podendo-se distinguir claramente neste mercado duas vertentes: comercial/industrial e residencial. Esta distinção é feita de forma a podermos avaliar as soluções de maneira correta, comparando apenas o comparável.

No setor comercial/industrial, as soluções existentes têm um carácter meramente funcional e apresentam um comportamento bastante satisfatório a todos os níveis. As empresas optam por fornecer revestimentos de paredes e tetos apenas de cor branca, já que não há exigências a nível visual, sendo a sua principal função proteger os materiais que cobre de ambientes agressivos (edifícios de lavagem de carros, currais de gado, etc.) garantindo ao mesmo tempo uma manutenção baixa desses ambientes. Neste tipo de aplicações, as fragilidades são difíceis de encontrar, já que sendo aplicações maioritariamente internas deixam de parte os problemas com o calor reconhecidos ao material e a sua vertente meramente funcional elimina também o desconforto visual e/ou possíveis desvanecimentos de cor.

No setor residencial os revestimentos em PVC, para além das características funcionais que se lhes exigem, têm também que cumprir com alguns requisitos relacionados com o conforto visual. Estas aplicações são maioritariamente exteriores e quase sempre têm uma dupla função (proteger e decorar). São exemplos: revestimentos de pilares, acabamentos exteriores decorativos, entre outros. Devido a essa função decorativa, as fragilidades são mais evidentes a nível de desgaste de cor e conforto térmico, apesar de existir uma tendência dos fabricantes para manter a cor branca nestes produtos, o que demonstra também alguma limitação do material para fins decorativos.

Uma solução ligeiramente menos desenvolvida é a das paredes não estruturais interiores. Estas funcionam como uma parede “falsa” e são usadas quando é necessária a criação de partições verticais, temporárias ou não. À semelhança dos revestimentos, esta solução é maioritariamente usada no setor industrial/comercial, nomeadamente na criação de divisórias em currais ou canis e paredes divisórias em escritórios ou fábricas. Estes painéis não necessitam de reforços interiores e funcionam segundo um mecanismo de encaixe fácil, sendo portanto um método rápido de erguer paredes divisórias em qualquer situação. A sua vantagem é a possibilidade de se poder construir novos elementos e novos espaços, sendo que por exemplo nos revestimentos apenas a cobertura dos elementos existentes é possível.

Uma das soluções mais interessantes, é a construção de edifícios modulares totalmente em PVC, criando infraestruturas de baixo custo e rápida construção. O seu interesse ganha forma especialmente quando se fala de países sub-desenvolvidos, onde é necessária a construção de habitações de qualidade a baixo custo. No entanto esta parece ser uma solução sub-desenvolvida, esbarrando em algumas limitações a nível mecânico do material no que toca ao vencimento de vãos e estabilidade estrutural. Alguns fabricantes apresentam projetos desta solução, mas estes são normalmente incompletos encontrando-se em fase concetual e não existindo uma quantidade de informação e de pormenores que lhe permita ser considerada uma solução exequível a curto prazo. Existem também soluções modulares para interiores, totalmente em PVC, nomeadamente para a criação de pequenos espaços de trabalho fechados inseridos no interior de edifícios, sendo que neste caso os problemas notados no desenvolvimento das soluções residenciais, não estão presentes devido a serem opções projetadas para interiores. O quadro 14 sintetiza as principais soluções inovadoras abordadas neste capítulo.

Quadro 14 – Matriz de soluções inovadoras em PVC

| Tipo de Solução | Descrição |
|-----------------|--|
| Decks | O PVC e compostos de madeira e PVC, têm sido uma alternativa para a indústria de decks para exteriores. A sua principal vantagem em relação à madeira e aos restantes materiais usados neste mercado é a sua baixa manutenção. |
| Revestimentos | O PVC é usado para revestimentos de paredes, pilares e outros elementos construtivos, podendo também ser usado em acabamentos decorativos. É usado principalmente na indústria agro-pecuária devido à sua facilidade de manutenção em ambientes com elevado desgaste. |
| Paredes | O PVC tem sido usado também para erguer paredes não estruturais interiores e para a criação de separações verticais, quando necessárias. A sua área de utilização é mais inclinada para construção temporária ou em ambientes de elevado desgaste, para promover a sua fácil manutenção. |
| Casas Modulares | Ainda que estando numa fase inicial de investimento, a indústria de construção de edifícios préfabricados em PVC tem tido avanços e já existem algumas soluções no mercado residencial e outros setores. |

5.2. DECKS

5.2.1. ESQUEMA

Os decks de PVC e de compostos de madeira e PVC (WPC), surgiram da necessidade de corrigir alguns problemas de desempenho das tradicionais tábuas de madeira, nomeadamente no que toca à sua instabilidade dimensional em ambientes húmidos e o seu comportamento face a microorganismos, fogo ou radiação UV [108].

A construção dos decks de PVC e WPC é baseada no mesmo princípio que os de madeira, mudando apenas o material e encaixe dos perfis que compõem o deck propriamente dito. Estes não possuem uma altura mínima a partir do solo natural para serem construídos, desde que a estrutura de suporte esteja devidamente fixa a uma sub-estrutura estável e segura [109]. Sendo assim podemos distinguir três partes do deck: a sub-estrutura, a estrutura de suporte e os perfis. Na figura 56 podemos identificar os vários componentes de um deck.

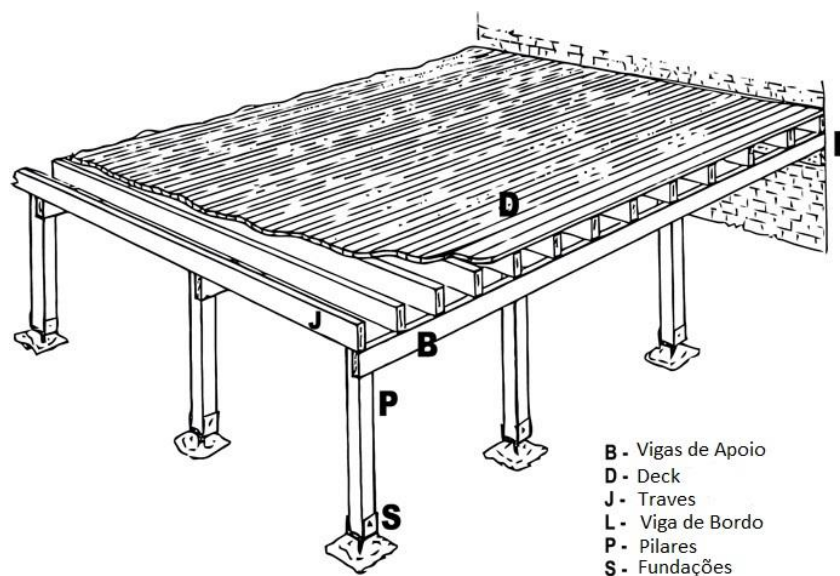


Fig.56 – Componentes de um deck [110]

Outras peças associadas à construção de decks como corrimões, grades, bancos ou canteiros, são também fabricados em PVC e em material compósito, criando assim diferentes opções de acabamentos decorativos para cada deck, mas mantendo a coerência a nível de material.



Fig.57 – Bancos e canteiros (esq.) e corrimão (dir.) em PVC [111]

5.2.2. MATERIAIS E COMPONENTES

Os decks podem ser executados com PVC ou WPC, existindo algumas diferenças a nível do seu comportamento, custo ou manutenção. A estrutura de suporte pode ser em madeira ou metal, sendo no entanto de notar que alguns fabricantes recomendam um ou o outro para o seu produto em especial, devido às ligações dos perfis à estrutura e possíveis alterações dimensionais durante o uso do deck.

5.2.2.1. PVC

Os decks de PVC não contêm mais nenhum material na sua composição, podendo ser virgem ou reciclado. Pode existir, dependendo do fabricante, um capeamento de proteção à base de um polímero de forma a melhorar ainda mais o comportamento do deck aos agentes atmosféricos e desgaste corrente resultante do uso [112].

A vantagem do uso do PVC em decks exteriores, prende-se com o facto de não existir qualquer material orgânico. Isto faz com que não existam, mesmo em condições propícias a isso, bolores ou apodrecimento das peças. Também devido a esse facto, não existe variabilidade dimensional provocada por humidade e consequentemente uma redução de empenamentos das peças. Normalmente a manutenção é básica e não necessita de envernizamentos ou aplicações especiais na superfície, sendo facilmente lavável e resistente a manchas [112].

No entanto o PVC é uma opção mais cara no que toca a decks, apesar de alguns fabricantes alegarem que se torna na opção mais económica a longo prazo. No que toca ao comportamento às condições climáticas, apesar de existir um bom comportamento quanto à presença de água, o calor pode tornar-se um problema. A variabilidade dimensional devido ao calor é prevista pelos fabricantes na construção do deck, sendo muito importante seguir as recomendações destes na instalação do produto, mas o calor absorvido pelo material é elevado e num dia quente, com o sol a incidir na superfície do deck, o material é extremamente desagradável ao toque e atinge temperaturas muito altas. Apesar de alguns fabricantes alegarem que não existe degradação da cor ao longo do tempo, muitos destes consideram isto um problema estético e não de desempenho do produto, não incluindo assim esta característica como um defeito do material e consequentemente abrangido pela garantia, deixando assim algumas dúvidas quanto ao verdadeiro comportamento desta característica. Também ao nível do aspeto e textura é o material que mais deixa a desejar no que toca às parecenças com a madeira [112].



Fig. 58 – Perfil de deck em PVC [112]

5.2.2.2. Compostos de madeira e PVC (WPC-PVC)

Os compostos de madeira e PVC, como o nome indica, são fabricados a partir de fibras de madeira e PVC reciclado. A opção de terem incorporado um capeamento de proteção à base de um polímero é também possível [113].

A opção de utilizar WPC na construção de decks é mais barata do que a solução de PVC, sendo no entanto geralmente mais cara que as soluções de madeira correntes. Devido à mistura de madeira e PVC, consegue-se reduzir de forma significativa o aparecimento de bolores ou o apodrecimento das peças, sendo no entanto possível de acontecer devido à presença de material orgânico. É no entanto possível usar aditivos na formulação que ajudem a reduzir o aparecimento deste tipo de defeitos [113].

A presença das fibras de madeira confere um aspeto mais similar à madeira do que os decks apenas de PVC e também adiciona alguma resistência estrutural, aparentando ser um material mais sólido. O PVC inserido na formulação traz as características vantajosas já mencionadas no sub-capítulo anterior, como a resistência à humidade, manchas, assim como a baixa manutenção. É no entanto importante mencionar que devido à mistura dos dois materiais, as vantagens e desvantagens de cada material traduzem-se nas peças, isto é, os decks de WPC têm um melhor comportamento à humidade que os decks de madeira e à radiação ultravioleta do que os decks de PVC, o que não implica que não possam

acontecer variações dimensionais ou desaparecimento da cor. Outra desvantagem que é trazida pela presença do PVC no composto é a retenção de calor, sendo similar aos decks de PVC, no que toca ao desconforto tátil em situações de muito calor [113].



Fig.59 – Perfil de deck composto [113]

5.2.2.3. Componentes.

O sistema é normalmente constituído, para além da sub-estrutura e da estrutura de suporte, por dois componentes distintos: os perfis que compõem o deck e os fixadores.

A sub-estrutura é constituída pelas fundações, pilares e vigas e tem como função dar elevação e estabilidade estrutural ao deck. As fundações podem ser executadas de diversas maneiras, devendo-se avaliar qual a melhor forma para cada situação. Aquando dessa avaliação deve ter-se em conta a ligação da fundação aos pilares, que também terá diferentes formas de execução para cada caso, dependendo também em parte do tipo de fundação escolhido. As vigas irão ser apoiadas nos pilares e, no caso de existir, fixas numa viga de apoio situada na face do edifício ou estrutura adjacente ao deck.

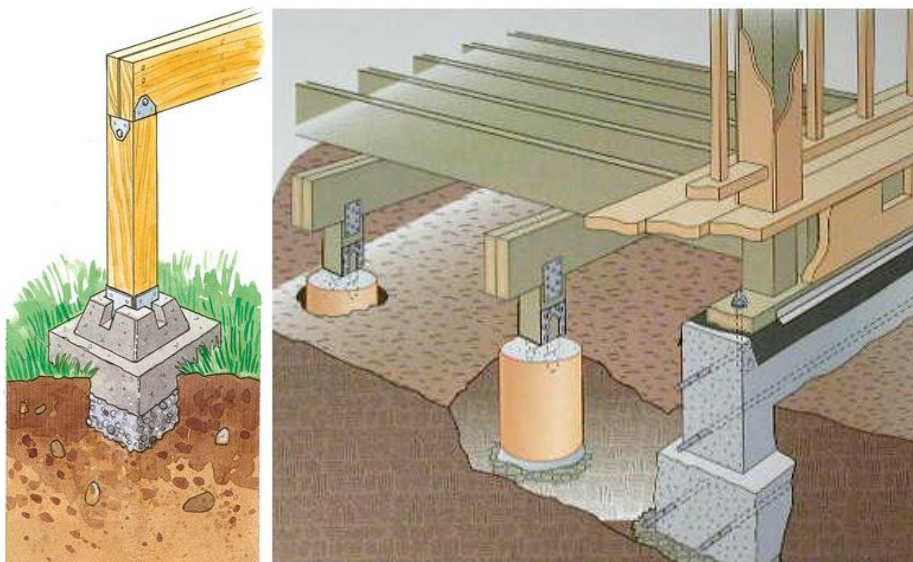


Fig.60 – Exemplos de fundações para decks, [114] [115]

A estrutura de suporte visa criar uma base onde se poderão colocar as tábuas e, em conjunto com a sub-estrutura, conferir segurança e estabilidade ao deck. É normalmente constituída por traves de

madeira ou metálicas, colocadas com um espaçamento regular, transversalmente às vigas da sub-estrutura, conferindo o apoio correto aos perfis do deck.

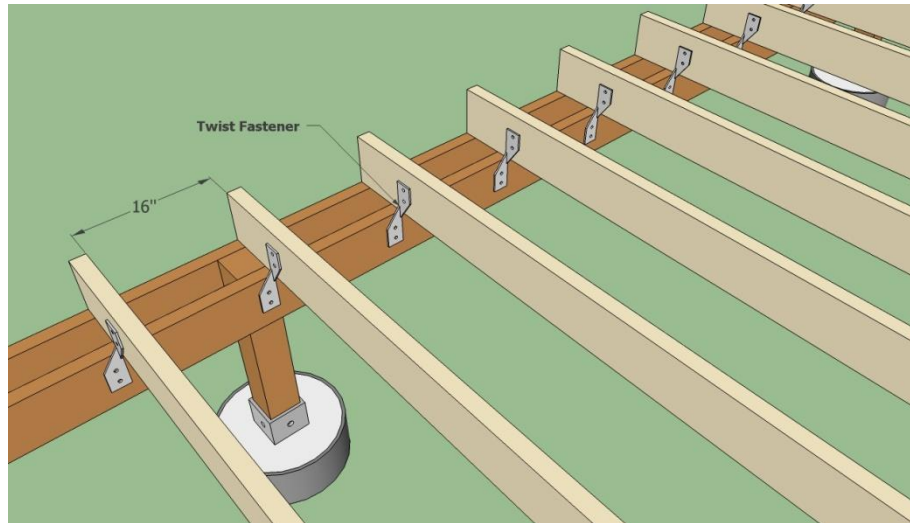


Fig. 61 – Exemplo de estrutura de suporte para deck [116]

Os perfis ou tábuas do deck são o principal componente, já que é sobre elas que recai a avaliação do comportamento do sistema. Para além dos perfis, existe a necessidade de utilizar componentes que garantam a fixação destes à estrutura e dos próprios elementos da estrutura entre si. No caso da ligação dos perfis à estrutura, essa fixação pode ser visível (utilizando parafusos diretamente no perfil) ou oculta (usando fixadores especiais que ficam ocultos entre os perfis), dependendo dos fixadores utilizados e do design dos perfis. Nas figuras 60 e 61 conseguem-se observar alguns tipos de fixadores ao nível da estrutura e na figura 62 apresentam-se dois tipos diferentes de fixação oculta ao nível da fixação dos perfis.

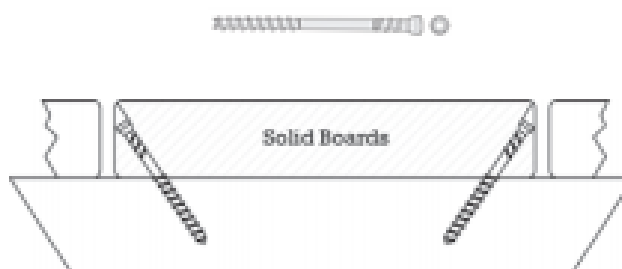


Fig.62 – Exemplos de fixação oculta, [117] [118]

5.2.3. PORMENORIZAÇÃO

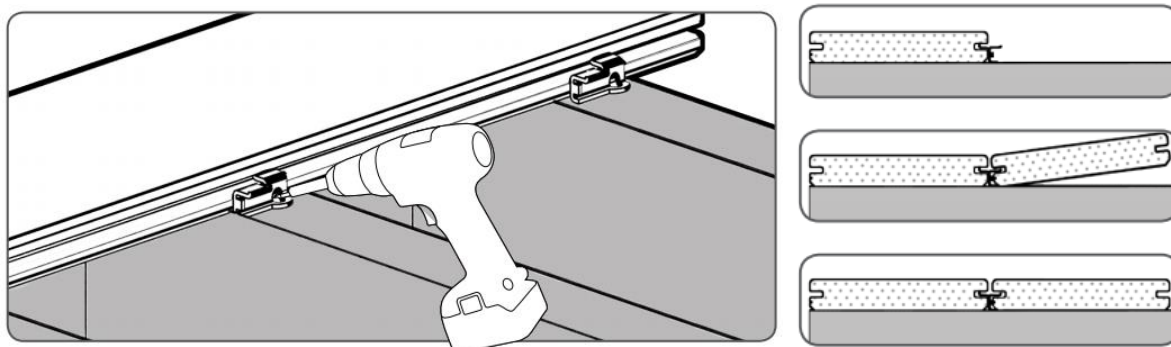


Fig.63 – Montagem de perfis com fixação oculta [113]

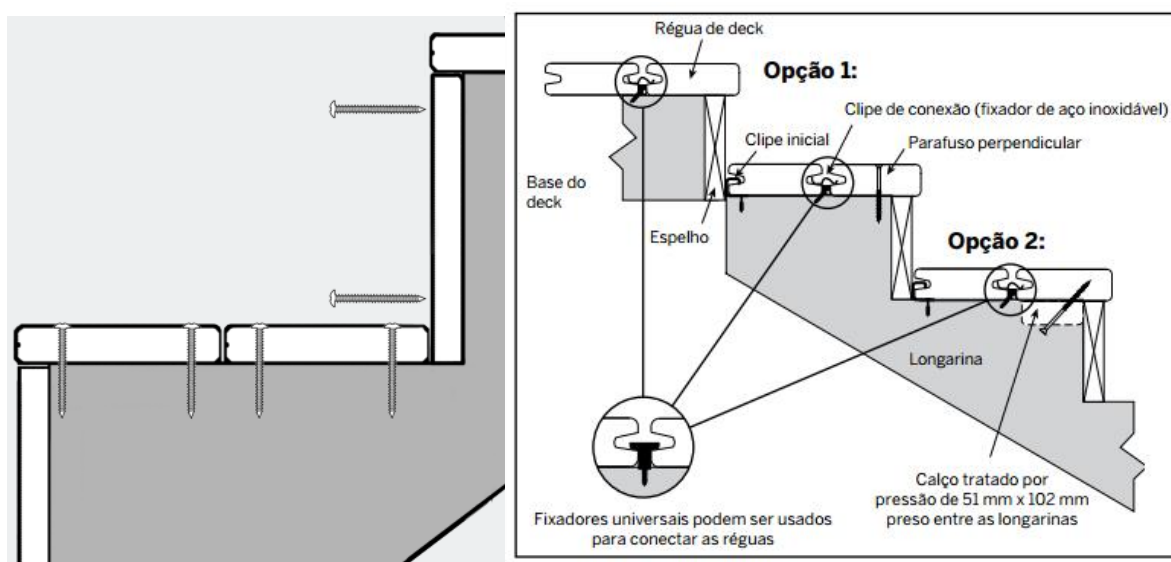


Fig.64 – Montagem de escadas de deck [113]

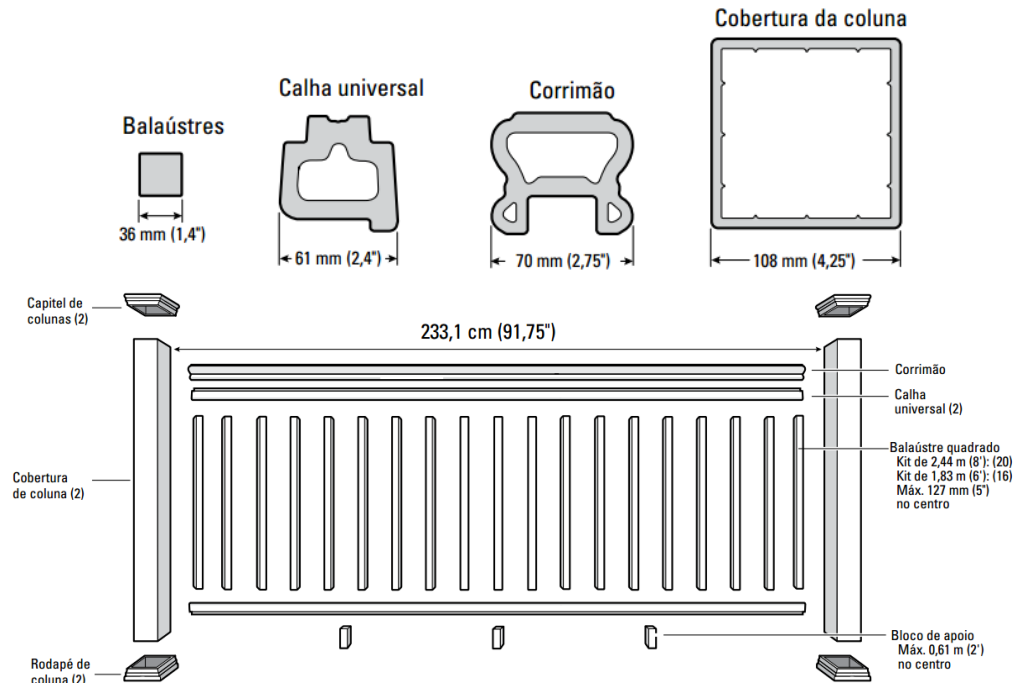


Fig.65 – Componentes do sistema de corrimão [113]

5.3. REVESTIMENTOS

5.3.1. ESQUEMA

O PVC, devido às suas características de baixa manutenção e grande resistência a agentes químicos e biológicos, tem sido também usado no revestimento de superfícies (paredes, tetos, pilares, etc.) construídas com outros materiais, mais suscetíveis a serem afetados por esses agentes ou de difícil manutenção em construções existentes, sujeitas a condições mais hostis.

O sistema assenta em perfis de PVC de baixa espessura, que encaixam entre si e são fixos mecânicamente à estrutura existente, variando tanto as espessuras como os tipos de encaixe e fixação conforme o fabricante.

5.3.2. MATERIAIS E COMPONENTES

5.3.2.1. Materiais

Os revestimentos são normalmente fabricados 100% em PVC, sendo apenas necessários parafusos ou fixadores metálicos para completar o sistema e executar a solução.

O uso de PVC neste tipo de soluções resulta das vantagens que este apresenta no comportamento a situações de utilização mais agressivas, como na indústria agro-pecuária, cozinhas ou casas de banho públicas, entre outros. Nestes ambientes, a quantidade de sujidade e/ou substâncias potencialmente agressivas para a estrutura e consequentes lavagens frequentes, obrigam a um grande desgaste para os materiais mais comuns na construção. O PVC beneficia de uma grande resistência a agentes biológicos, químicos e à constante presença de água, sendo por isso uma solução viável para este tipo de espaços.

Este tipo de soluções visa principalmente a funcionalidade em detrimento do aspeto, e os revestimentos existentes são normalmente em cor branca, exceto certas aplicações no setor residencial, não existindo o problema do desgaste da cor e possibilitando o uso exterior sem prejuízo dessa característica. A sua manutenção é também um dos pontos fortes, já que é bastante baixa, o que se torna interessante para as utilizações referidas.

As aplicações no setor residencial referem-se a aplicações exteriores para janelas, portas, cantos, entre outros, que apesar de beneficiarem das propriedades vantajosas do material, devido ao seu carácter decorativo, o possível desvanecimento da cor das peças passa a ser uma desvantagem.

5.3.2.2. Componentes

No que toca aos revestimentos, podemos distinguir dois componentes: os perfis e as guarnições.

Os perfis são o componente que irá fazer o revestimento propriamente dito. Estes são normalmente de pequena espessura, podendo variar de acordo com o fabricante e com o uso pretendido para o edifício.



Fig.66 – Perfil de revestimento em PVC [119]

Para fazer as ligações nas várias interseções e executar os acabamentos, é necessário o segundo componente: as guarnições. Estas permitem fazer o acabamento dos cantos, rodapés ou ligações aos tetos.

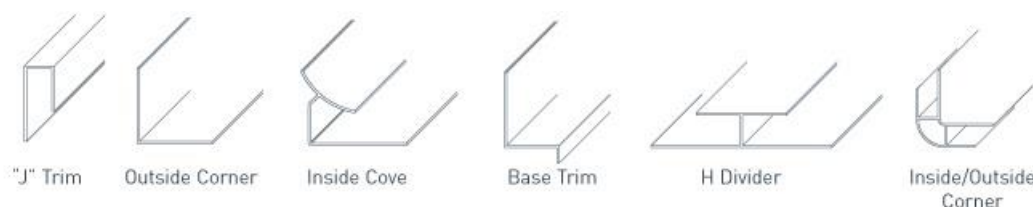


Fig.67 – Guarnições do sistema de revestimentos [119]

Para além dos perfis e guarnições é necessário o uso de parafusos ou fixadores para garantir a fixação mecânica do revestimento à estrutura. Os parafusos ou fixadores a utilizar não fazem normalmente parte dos componentes fornecidos e é da responsabilidade do cliente escolher aqueles que mais se ajustem à situação e ao material da estrutura onde se irá aplicar o revestimento.

5.3.3. PORMENORIZAÇÃO

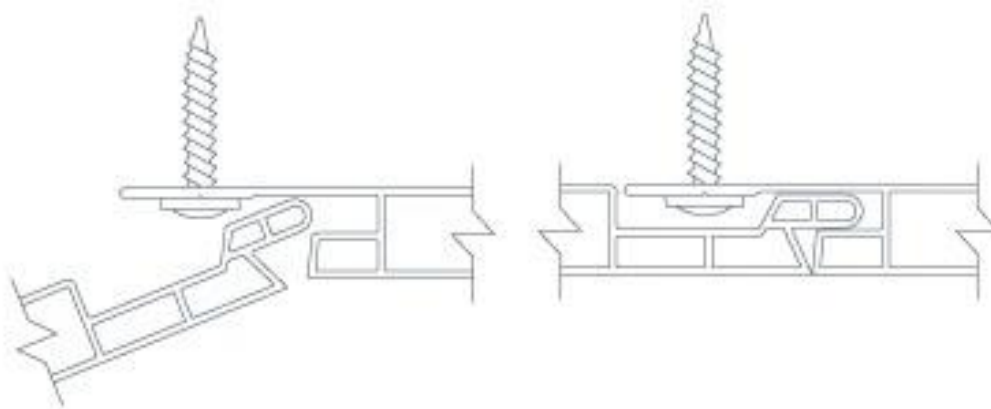


Fig.68 – Pormenor de encaixe do sistema de revestimento em PVC [119]

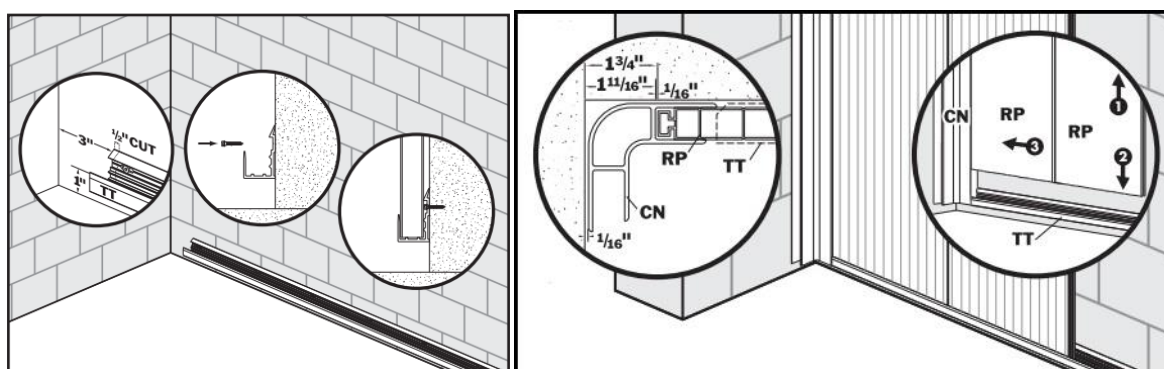


Fig.69 – Pormenor de montagem de canto [120]

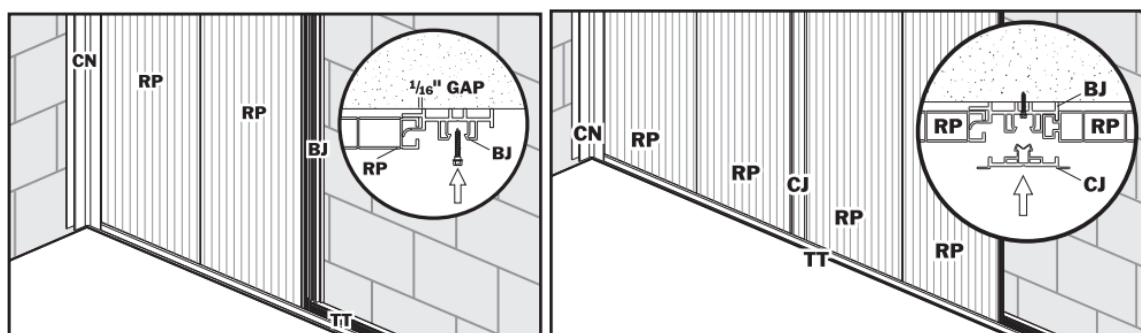


Fig.70 – Pormenor de montagem de zona corrente [120]

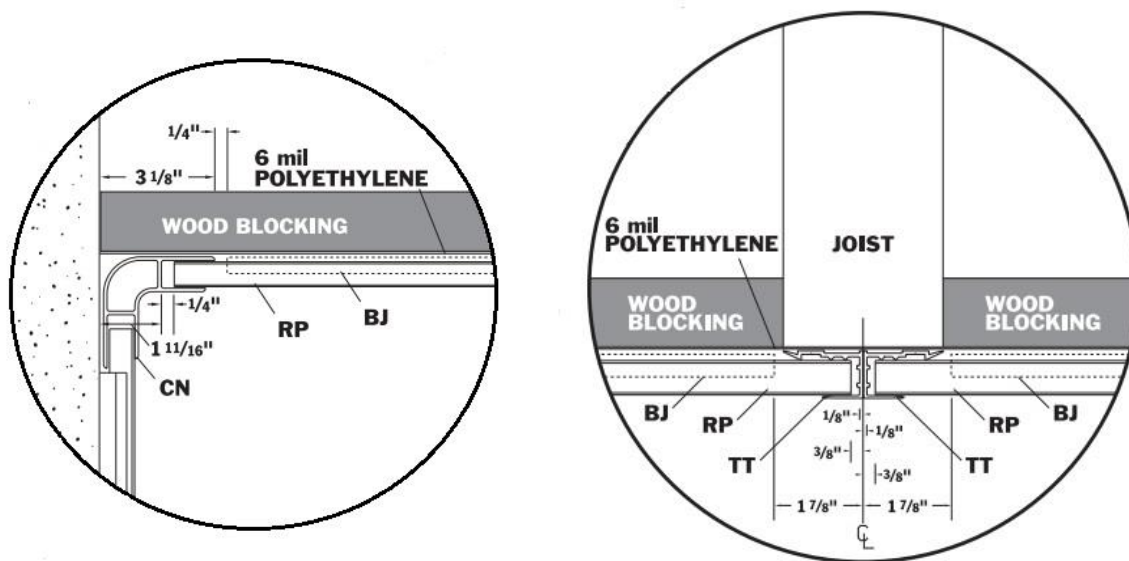


Fig.71 – Pormenores de ligação painéis de teto: ligação a parede (esq.) e ligação a travessa de telhado (dir.)
[120]

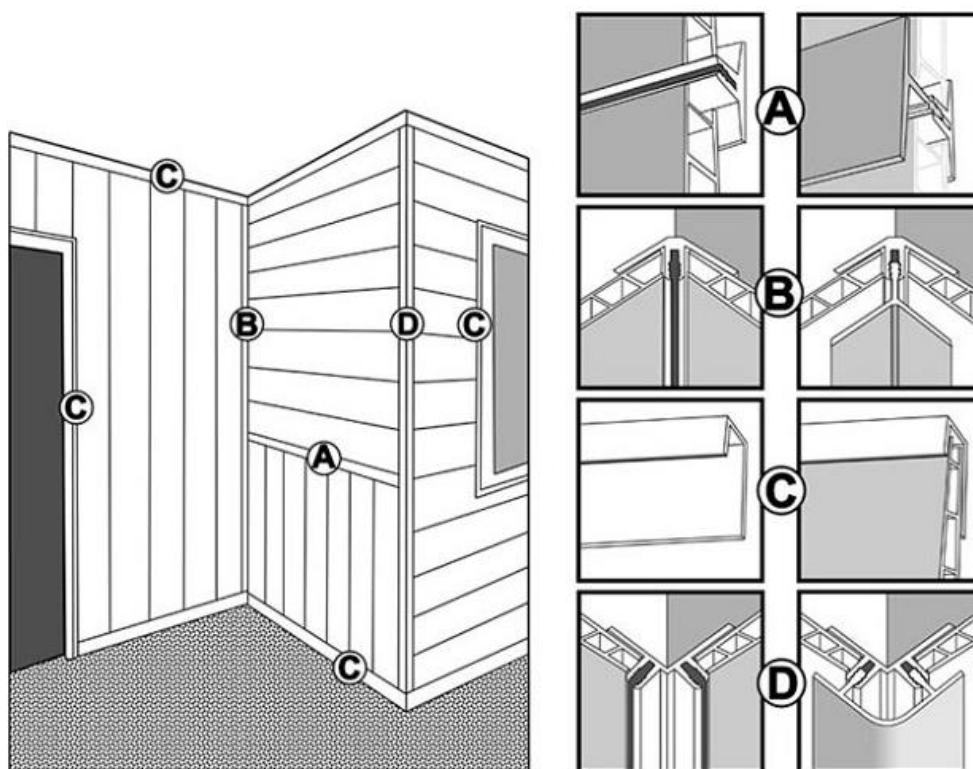


Fig.72 – Pormenor de encaixe de guarnições [121]

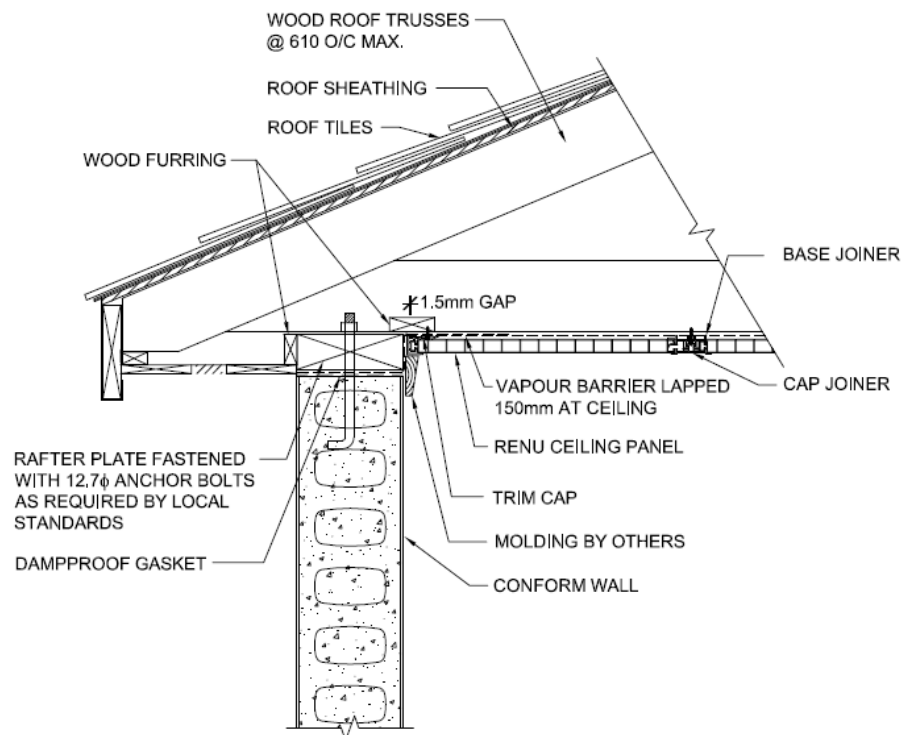


Fig.73 – Pormenor de ligação painel de teto com parede de cofragem de PVC [120]

5.4. PAREDES INTERIORES NÃO ESTRUTURAIS

5.4.1. ESQUEMA

Outra das aplicações do PVC é em paredes interiores ou divisórias. Devido à leveza do material é possível erguer paredes de altura considerável (na ordem dos 6/7 metros), conseguindo no entanto uma resistência estrutural elevada, sem o auxílio de outros materiais (apesar de haver compatibilidade com o uso destes). Os sistemas baseiam-se em perfis de PVC ocos com divisórias no interior do perfil, que encaixam entre si, com encaixes simples de macho-fêmea, podendo haver conectores ou outras peças para o auxílio dos encaixes. Estes sistemas prevêm a instalação de aberturas (portas e janelas), portões, cercas ou caixas de instalações elétricas embutidas e são projetados para poderem receber peso extra proveniente dessas instalações ou outro tipo de equipamentos fixos diretamente nos perfis.

5.4.2. MATERIAIS E COMPONENTES

5.4.2.1. Materiais

Os perfis são constituídos por 100% PVC assim como as peças conectoras. As aplicações mais comuns deste tipo de solução são, à semelhança dos revestimentos, no setor industrial e comercial, deixando para segundo plano as exigências estéticas. Sendo assim, a importância das características de resistência a agentes biológicos, químicos e à água do PVC tornam-se fundamentais para a execução deste tipo de solução.

5.4.2.2. Componentes

Os sistemas são usualmente constituídos por dois componentes: os painéis e os conectores. Os painéis constituem o pano de parede em si, enquanto que os conectores fazem as ligações entre painéis, como por exemplo nos cantos.

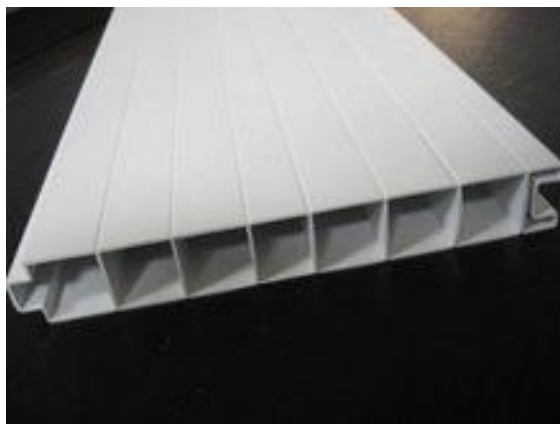


Fig.74 – Painel de parede interior em PVC [122]



Fig.75 – Conectores para sistema de parede interior [122]

5.4.3. PORMENORIZAÇÃO

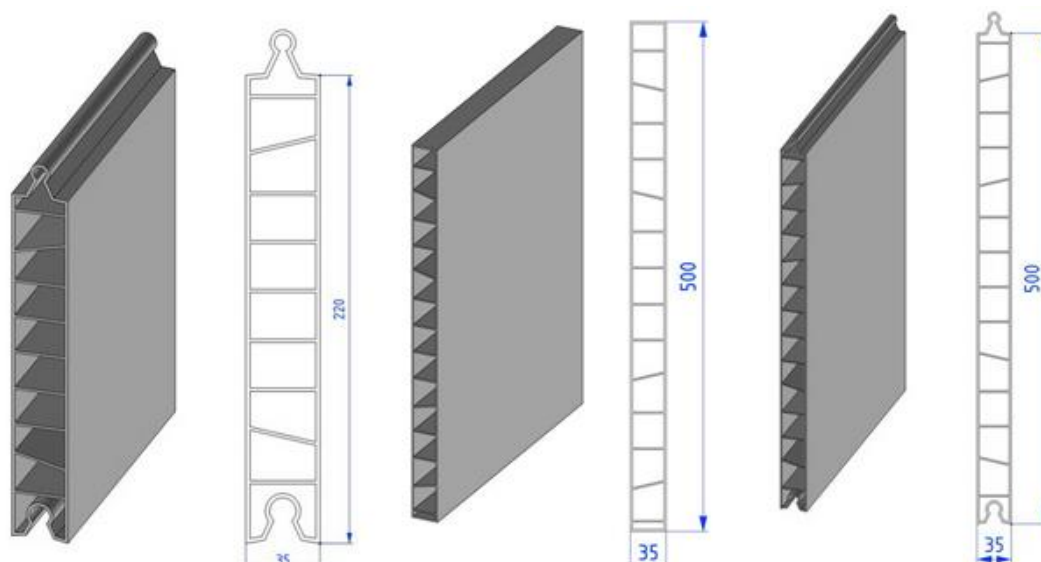


Fig.76 – Painéis de paredes interiores [123]

5.5. CASAS MODULARES

5.5.1. ESQUEMA

As casas modulares são um tema interessante na utilização do PVC na construção, já que abordam uma preocupação constante na edificação urbana: a construção rápida e de baixo custo normalmente associada a habitações sociais ou a países sub-desenvolvidos onde a ausência de infraestruturas é um problema sério. No entanto, do que se conseguiu apurar, é uma solução ainda em desenvolvimento havendo pouca informação e de pouca qualidade.

As casas modulares são edifícios pré-fabricados que podem ter diversas utilizações como habitações sociais, escolas, clínicas ou infraestruturas comerciais. Estas podem ser personalizadas de acordo com o grau de exigência e a capacidade financeira do seu comprador, permitindo até modificações posteriores à sua construção com a adição ou alteração de módulos, o que denota a grande versatilidade do sistema [124].

Uma das soluções presentes no mercado é a da empresa portuguesa Pinheiro & Ribeiro. Esta apresenta um sistema de casas modulares em PVC destinadas ao mercado Angolano ou outro país africano com características de clima idêntico, devido às suas características específicas. As soluções fornecidas vão desde um T0 com 42 m² a um T5 com 187 m² [125]. A ficha técnica do produto apresenta apenas exemplos conceptuais, sendo no entanto relevante mencionar os acabamentos previstos pela empresa, os quais se apresentam no quadro 15.

Quadro 15 – Lista de acabamentos de uma casa modular [125]

| Elemento | Descrição |
|----------------------|--|
| Base | Lage aligeirada ou estrutura metálica (não contabilizada) pode ser executada pelo cliente |
| Paredes | Paredes exteriores placadas a silicato de cálcio + isolamento de lã mineral (50 mm) + perfil de PVC (30 mm) à vista Paredes interiores duplas em PVC (30 mm) |
| Pavimentos | Pavimentos interiores em cerâmico ou flutuante Pavimentos exteriores em imitação de deck ou cerâmico |
| Cobertura | Painel sanduíche (40 mm) de alta densidade com caleira/platibanda de remate em todo o perímetro da cobertura |
| Vãos | Caixilharias em PVC conforme projeto Vidros duplos sem tonalidade Portas interiores e portas de entrada em PVC de cor branca |
| Infraestruturas | Sistema de eletricidade básico, mínimo e indispensável ao normal funcionamento das habitações, incluindo quadro elétrico, tomadas e interruptores e cablagem para lâmpadas Canalizações, tubagens e sifões para águas e esgotos Sancas e rodapés |
| Equipamento | Louça sanitária, lava-louça em inox, torneiras e acessórios conforme projeto Móveis inferiores na cozinha e sanitários com revestimento cerâmico Roupeiros de 1700x2000 mm Ar condicionado de sistema split |
| Exclusões do projeto | Licenciamento, muros e vedações Lareira, chaminé Eletrodomésticos e ligações à rede pública de sistema elétrico Ligação de águas e esgotos à rede pública Portadas e estores Trabalhos de escavações exteriores |

As paredes de PVC são exteriormente placadas a silicato de cálcio. Esta substância é obtida através da sílica diatomácea, óxido de cálcio e fibras e é um material usado em aplicações em tubulações e equipamentos, sob altas temperaturas, pela sua leveza, resistência mecânica, mínima perda de calor, insolubilidade e alta resistência estrutural [125].

Este material é impermeável, incombustível e apresenta um excelente desempenho térmico, sendo por isso utilizado também em fachadas, fachadas ventiladas, acabamentos interiores ou como elemento

meramente decorativo. A empresa fornece o acabamento exterior deste material em rosa ou cinza [125].

A empresa apresenta ainda uma solução alternativa (mais cara) com uma camada interior em silicato de cálcio permeável branco com acabamento de pintura. O detalhe de ambas as soluções apresenta-se na figura 77.



Fig.77 – Detalhe de soluções de paredes para casas modulares [125]

Quanto aos sistemas modulares interiores para usos comerciais, a empresa norte-americana Extrutech apresenta uma solução que engloba vários dos seus produtos, nomeadamente os painéis de paredes interiores, os painéis de teto e as portas, tudo em PVC, que através de encaixes e uma estrutura metálica simples, formam um espaço fechado (no interior de outro edifício) pronto a utilizar. Pelo facto de ser uma construção interior, esta não estará sujeita às intempéries e problemas estruturais que podem surgir na construção de uma casa modular e é portanto sujeita a outro tipo de avaliação. Na figura 78 pode-se observar a aplicação dos perfis na estrutura metálica e o resultado final do edifício modular.

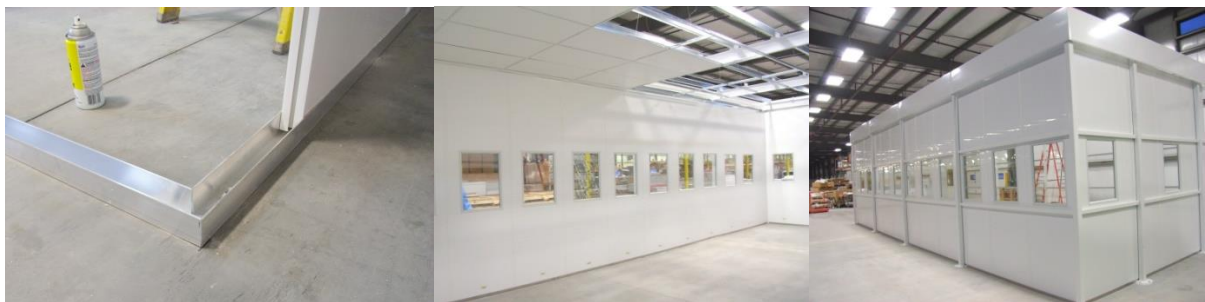


Fig.78 – Construção de um sistema modular interior [122]

6

CONCLUSÃO

O PVC possui um grande potencial de aplicação na indústria da construção civil, muito por causa das características de desempenho inerentes ao próprio material. O facto de ser um material impermeável (tanto a líquidos como a gases), não suscetível a ataques de agentes biológicos e químicos, dimensionalmente estável e de fácil processamento (solda, corte, colagem, etc.), torna-o um grande atrativo para a indústria. Além das características inerentes ao material, a grande versatilidade na sua formulação pela junção de aditivos, permite um melhoramento de diversas características, nomeadamente algumas de interesse reforçado para a construção civil, como são o comportamento ao fogo, resistência mecânica, durabilidade ou comportamento face aos agentes atmosféricos. Alguns destes melhoramentos encontram-se mais desenvolvidos que outros, o que parece por vezes limitar alguns usos do PVC, mas ao mesmo tempo é um indicador da evolução do material, sendo mesmo expectável que surjam novos aditivos que permitam melhorias em características atualmente menos interessantes do PVC. Existe também uma compatibilidade do material para ser misturado com outro tipo de materiais, como fibras ou outros polímeros, de forma a realçar algumas características específicas de ambos os materiais, sendo que nestes casos será um material compósito. Em termos sustentáveis é possível dizer que se trata de um material “verde”, já que é totalmente reciclável. No entanto é necessário mencionar que os processos de reciclagem mecânica, bastante utilizados, resultam em produtos reciclados de inferior qualidade, o que poderá ser pouco atrativo na perspetiva da indústria da construção. Uma opção para este problema é a reciclagem química, cujo produto de reciclagem são matérias-primas prontas a utilizar de novo em processos de polimerização, o que no entanto tem muito pouca aceitação internacional, apesar dos baixos níveis de poluição.

As caixilharias em PVC são já largamente usadas em vários países do mundo, sendo até líderes de mercado em alguns desses países e havendo indicadores que o mercado ainda está em fase de crescimento. Um dos responsáveis por esse crescimento é o desempenho das caixilharias de PVC em termos térmicos. Dentro dos materiais disponíveis para caixilharias é o que apresenta melhor coeficiente de transmissão térmica, sendo uma das exigências de desempenho mais importantes em soluções de preenchimento de vãos. É também importante mencionar que as caixilharias de PVC, em geral, apresentam um comportamento satisfatório em quase todas as exigências de desempenho, sendo que aquelas em que apresenta maior dificuldade, em termos relativos, são a nível de comportamento ao fogo, resistência mecânica e estabilidade ao calor, características que têm sido alvo de estudo em termos de novas formulações de PVC. Em termos económicos, a caixilharia de PVC tende a ser a opção mais cara em termos de investimento inicial sendo que, dependendo do seu desempenho, em comparação com as outras soluções, pode ficar mais barata no custo a longo prazo.

Quanto aos sistemas estruturais compostos de PVC e betão armado, nomeadamente sistemas de cofragens SiP de paredes, pode-se concluir que, ainda que sejam pouco utilizados em relação aos métodos tradicionais de cofragem, são uma excelente alternativa quando se procura uma redução significativa de volumes de trabalho e consequentemente de custos e tempo. A presença do PVC nas paredes funciona como proteção da superfície do betão e das armaduras, sendo que ficou também claro que pode também introduzir melhorias estruturais significativas. Uma desvantagem notada é o impacto visual do edifício acabado, que no entanto pode passar para um plano secundário se se tiver em conta que é uma solução destinada a mercados como o industrial, comercial e residencial de baixo custo.

No que toca aos sistemas de cofragens SiP para pilares em PVC, a literatura é escassa e não é possível tirar qualquer conclusão referente ao uso destes sistemas. O sistema de cofragem SiP para lajes, que utiliza a tecnologia *BubbleDeck*, é um dos métodos mais populares para a execução de lajes leves. Esta tecnologia permite uma redução de 35% do peso da laje, mantendo a sua capacidade de carga, permitindo assim o vencimento de vãos até 50% maiores. As reduções de custos baseadas na redução de trabalhos e materiais provocadas pela utilização deste sistema podem estar entre 2,5% a 10% do custo total de uma obra. Apesar de ser uma solução interessante, é necessário mencionar que as esferas de PVC não têm qualquer efeito ativo no comportamento da laje, funcionando apenas como solução de aligeiramento.

Os decks em PVC têm na sua resistência a agentes biológicos, estabilidade dimensional face a humidade e baixa manutenção, vantagem em relação aos decks em madeira. Apesar do bom comportamento nessas características, os decks em PVC ainda deixam a desejar no que toca ao comportamento ao calor e à luz, podendo apresentar variabilidade dimensional, temperaturas muito altas na superfície do deck e desvanecimento da cor. Outra opção são os materiais compostos de madeira e PVC, que juntam as características dos dois materiais, juntando também no entanto as suas vantagens e desvantagens. Em termos económicos os decks em PVC são os mais caros, seguidos dos decks em material compósito, sendo estes últimos geralmente mais caros que as soluções correntes de madeira. No entanto, devido ao baixo custo de manutenção dos decks em material compósito e principalmente dos decks em PVC, poderão tornar-se soluções mais baratas a longo prazo. De notar que os decks em PVC em conjunto com os decks em material compósito já ocupam uma faixa de mercado significativa.

O PVC usado como revestimento de paredes e tetos, é uma solução viável para os setores industrial e comercial, onde uma proteção adicional da estrutura com baixa manutenção seja necessária, seja devido à agressividade do ambiente em termos de sujidade, seja devido à presença constante de água. No setor residencial, os revestimentos de colunas e pilares assim como revestimentos decorativos, são os mais utilizados. As vantagens e desvantagens deste sistema neste mercado assemelham-se às dos decks.

No que toca a paredes interiores não estruturais e a casas modulares em PVC, a literatura disponível e os detalhes dos sistemas são escassos, não sendo possível tirar conclusões relevantes quanto a estes usos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] http://www.institutodopvc.org/publico/index.php?a=conteudo&canal_id=39&subcanal_id=40. 03/15
- [2] Martins, Sandra. *Controlo da Qualidade em Curso de Fabrico de Compostos de PVC*. Dissertação de Mestrado. FEUP, 1997.
- [3] http://www.pvc.la/o_que_e_o_pvc.html. 03/15
- [4] <http://www.plastasso.com.br/composicao.html>. 03/15
- [5] http://www.solvaysites.com/sites/solvayplastics/EN/Solvay%20Plastics%20Literature/Leaflet_O_que_e_PVC_PT.pdf. 03/15
- [6] Brydson, J. A. cap.12 – vinyl chloride polymers. In *Plastics Materials (Seventh Edition)*, 311-362, Butterworth-Heinemann, Oxford, 1999. ISBN:978-0-7506-4132-6.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978075064132650053X>. 978-0-7506-4132-6
- [7] <http://www.institutodopvc.org/reciclagem/basetxt.htm>. 03/15
- [8] <http://www.polygonpipe.com.br/4-PVC-U-sewage-1.html>. 03/15
- [9] <http://www.pabovi.com.br/2013/produtos/casa-e-jardim/eletroduto-flexivel--pvc-espiralado/9>. 04/15
- [10] <http://en.wikipedia.org/wiki/Plastisol>. 05/15
- [11] <http://www.superiorglove.com/work-gloves/palm-coated-gloves/pvc-palm-coated-gloves>. 05/15
- [12] Braskem. *Boletim Técnico - Propriedades de Referência dos Compostos de PVC*. 2002.
http://www.braskem.com/Portal/Principal/Arquivos/html/boletm_tecnico/Tabela_de_Propriedades_de_Referencia_dos_Compostos_de_PVC.pdf. 05/15
- [13] <http://www.makeitfrom.com/material-properties/Plasticized-Flexible-Polyvinyl-Chloride-PVC-P/>. 05/15
- [14] <http://www.midwestinnovators.com/downloads/Plastisol.pdf>. 05/15
- [15] William Coaker, A. *Fire and flame retardants for PVC*. Journal of Vinyl and Additive Technology - Vol. 9. n.º 3, 2003, p. 108-115, ISSN:1548-0585.
<http://dx.doi.org/10.1002/vnl.10072>.
- [16] Ning, Yong; Guo, Shaoyun. *Flame-retardant and smoke-suppressant properties of zinc borate and aluminum trihydrate-filled rigid PVC*. Journal of Applied Polymer Science - Vol. 77. n.º 14, 2000, p. 3119-3127, ISSN:1097-4628. [http://dx.doi.org/10.1002/1097-4628\(20000929\)77:14<3119::AID-APP130>3.0.CO;2-N](http://dx.doi.org/10.1002/1097-4628(20000929)77:14<3119::AID-APP130>3.0.CO;2-N).
- [17] Markarian, Jennifer. *Advances in PVC heat and light stabilization*. Plastics, Additives and Compounding - Vol. 6. n.º 5, 2004, p. 46-49. ISSN:1464-391X.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1464391X04002648>.
- [18] Dányádi, L., Janecska, T., Szabó, Z, Nagy, G., Móczó, J., Pukánszky, B. *Wood flour filled PP composites: Compatibilization and adhesion*. Composites Science and Technology - Vol. 67. n.º 13, 2007, p. 2838-2846. ISSN:0266-3538.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0266353807000644>.

- [19] Stark, N. M., Rowlands, R. E. *Effects of wood fiber characteristics on mechanical properties of wood/polypropylene composites*. Wood and Fiber Science - Vol. 35. n.º 2, 2003, p. 167-174.
<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0038679321&partnerID=40&md5=2ac90bb65abe07cab97004c9f5449f73>.
- [20] Zaini, M. J., Fuad, M. Y. A., Ismail, Z., Mansor, M. S., Mustafah, J. *The effect of filler content and size on the mechanical properties of polypropylene/oil palm wood flour composites*. Polymer International - Vol. 40. n.º 1, 1996, p. 51-55. ISSN: 1097-0126.
[http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0126\(199605\)40:1<51::AID-PI514>3.0.CO;2-I](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1097-0126(199605)40:1<51::AID-PI514>3.0.CO;2-I).
- [21] Tungjitpornkull, S., Chaochanchaikul, K., Sombatsompop, N. *Mechanical Characterization of E-Chopped Strand Glass Fiber Reinforced Wood/PVC Composites*. Journal of Thermoplastic Composite Materials - Vol. 20. n.º 6, 2007, p. 535-550.
<http://jtc.sagepub.com/content/20/6/535.abstract>.
- [22] Ashori, A., Kiani, H., Mozaffari, S. A. *Mechanical properties of reinforced polyvinyl chloride composites: Effect of filler form and content*. Journal of Applied Polymer Science - Vol. 120. n.º 3, 2011, p. 1788-1793. ISSN: 1097-4628. <http://dx.doi.org/10.1002/app.33378>.
- [23] Ashori, A., Sheshmani, S. *Hybrid composites made from recycled materials: Moisture absorption and thickness swelling behavior*. Bioresource Technology - Vol. 101. n.º 12, 2010, p. 4717-4720. ISSN: 0960-8524. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096085241000146X>.
- [24] Pothan, L. A., Thomas, S. *Effect of hybridization and chemical modification on the water-absorption behavior of banana fiber-reinforced polyester composites*. Journal of Applied Polymer Science - Vol. 91. n.º 6, 2004, p. 3856-3865. ISSN: 1097-4628
<http://dx.doi.org/10.1002/app.13586>.
- [25] Rocha, N., Kazlauciusas, A., Gil, M. H., Gonçalves, P. M., Guthrie, J. T. *Poly(vinyl chloride)-wood flour press mould composites: The influence of raw materials on performance properties*. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing - Vol. 40. n.º 5, 2009, p. 653-661. ISSN: 1359-835X. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359835X09000578>.
- [26] Braun, D. *Recycling of PVC*. Progress in Polymer Science - Vol. 27. n.º 10, 2002, p. 2171-2195. ISSN: 0079-6700. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079670002000369>.
- [27] Sadat-Shojai, M., Bakhshandeh, G-R. *Recycling of PVC wastes*. Polymer Degradation and Stability - Vol. 96. n.º 4, 2011, p. 404-415. ISSN: 0141-3910.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141391010004556>.
- [28] Giacomini, E. *Caixilharias Exteriores para Edifícios - Contribuição para a melhoria da sua especificação*. Dissertação de Mestrado, FEUP, 2006.
- [29] Silva, T., Silva T. *Sistemas de Caixilharias em PVC*. FEUP, 2008.
- [30] <http://www.finstral.com/web/images/FINSTRAL-Classic-line-FI%C3%BCgel-500-U01789U.jpg>. 05/15
- [31] ASOVEN PVC. *La Carpintería de PVC*. Interempresas.net, 2014.
http://www.interempresas.net/Cerramientos_y_ventanas/Articulos/129992-La-carpinteria-de-PVC.html.
- [32] ASOVEN PVC. *Las ventanas de PVC soluciones para la arquitectura - Las ventanas de PVC y la Construcción Sostenible*, 15/10/2009. http://www.asoven.com/publicaciones_files/PRESENT-ASOVEN-15octubre2009.pdf. 05/15

- [33] Vicente, M. J. M. *Tecnologia e Reabilitação de Caixilharias*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico de Lisboa - Academia Militar, 2012.
- [34] Kömmerling. *Manual da Janela*, 2007. http://www.kommerling-portugal.com/_docum/Manual_janela.pdf. 05/15
- [35] <http://www.ventanaspvc.com/wp-content/uploads/2011/07/perfilpvc.jpg>. 05/15
- [36] <http://www.kommerling.es/ventanas/abatibles/eurodur-3s>. 05/15
- [37] Kömmerling. *Manual de Montagem da Janela*, 2008. <http://www.jas-janelas.com/Pdf/mmpt.pdf>. 05/15
- [38] Laboratório de Sistemas e Componentes da FEUP. *Caracterização do Desempenho de Sistemas de Caixilharia em Fachadas de Edifícios*. <http://paginas.fe.up.pt/~earpe/conteudos/TPPC/AvaliacaoExperimentalCaixilhos.pdf>. 05/15
- [39] Glass, Saint-Gobain. *Manual do vidro*. Rotolito Lombarda, Paris, 2000.
- [40] Association Française de Normalisation. *XP P 28-004 - Facades légères: facades rideaux, facades semi-rideaux, facades panneaux*. AFNOR, 1995. <https://books.google.pt/books?id=5PJstwAACAAJ>.
- [41] Diário da República. *Regulamento Jurídico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios (RJ-SCIE)*. Decreto-Lei n.º 220/2008, 2008.
- [42] NP EN 13501-1: 2004 - *Classificação do desempenho face ao fogo de produtos e de elementos de construção*.
- [43] Santos, C. P. *Comportamento dos materiais na legislação de SCIE e possíveis evoluções na perspetiva do LNEC*, NFPA-APSEI – Prevenção e Segurança, 29/09/14, Estoril. http://nfpaportugalconference.com/2014/wp-content/uploads/2014/presentations/I_11_PinaSantos.pdf.
- [44] EN ISO 1182:2010. *Reaction to fire tests for building products–Non-combustibility test*. CEN (European Committee for Standardization), Brussels, Belgium, 2010.
- [45] EN ISO 1716:2010. *Reaction to fire tests for building products–Determination of the heat of combustion*. CEN (European Committee for Standardization), Brussels, Belgium, 2010.
- [46] EN 13823:2010+A1:2014. *Reaction to fire tests for building products - Building products excluding floorings exposed to the thermal attack by a single burning item*. CEN (European Committee for Standardization), Brussels, Belgium, 2014.
- [47] EN ISO 11925-2:2010. *Reaction to fire tests - Ignitability of products subjected to direct impingement of flame - Part 2: Single-flame source test*. CEN (European Committee for Standardization), Brussels, Belgium, 2010.
- [48] Mimoso, J. M. *Estanquidade à chuva em caixilharia de alumínio - ITE22*, Lisboa, LNEC, 2007.
- [49] Mendizábal, M. *Manual de la Ventana*. Madrid, Ministerio de Obras Públicas e Urbanismo, 1988.
- [50] Santos, C. P., Matias, L. *Coeficientes de transmissão Térmica de elementos da envolvente dos Edifícios - ITE 50*, Lisboa, LNEC, 2006.
- [51] Craveiro, F. P. *Estudo das possibilidades de intervenção face ao RCCTE na reabilitação de edifícios na zona histórica do Porto e suas consequências na etiquetagem energética*. Dissertação de Mestrado, FEUP, 2008.

- [52] Ramalheira, F. J. C. *Manual de boas práticas de escolha de vãos envidraçados - Exigências Funcionais de Vãos Envidraçados*. FEUP, 06/05.
http://paginas.fe.up.pt/~vpfreita/pce04007_Manual_de_boas_praticas_de_escolha_de_vaos_envidracados.pdf. 05/15
- [53] Diário da República. *Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH)*. Decreto-Lei n.º 118/2013. 2013.
- [54] Herzog, T., Krippner, R., Lang, W. *Facade Construction Manual*. Berlin/Basel, Birkhäuser, 2004. ISBN: 978-3-0346-1456-6. <https://books.google.pt/books?id=OTrTAAAAQBAJ>.
- [55] EN 14351-1:2006+A1:2010, *Windows and doors - Product standard, performance characteristics - Part 1: Windows and external pedestrian doorsets without resistance to fire and/or smoke leakage characteristics*. 2006.
- [56] NP EN 14351-1:2008+A1:2011, *Janelas e portas. Norma de produto, características de desempenho. Parte 1: Janelas e portas pedonais exteriores sem características de resistência ao fogo e/ou de estanquidade ao fumo*. 2008.
- [57] LNEC. *FAQs à EN 14351-1:2006+A1:2010, Janelas e portas. Norma de produto, características de desempenho, Parte 1: Janelas e portas pedonais exteriores sem características de resistência ao fogo e/ou de estanquidade ao fumo*. 2011. http://www.lnec.pt/qpe/marcacao/FAQ_Final.pdf.
- [58] Duarte, V. *Marcação CE, Directiva 89/106/CEE, Norma: EN 14351-1:2006 Anexo ZA, O passaporte para a livre circulação dos produtos no mercado único europeu - Resumo da Aplicação*. 2008. <http://marcacaoce.com/marcacaoCE.pdf>
- [59] Diário da República. *Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios (RSECE) - Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril de 2006*.
- [60] Diário da República. *Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios - Decreto-Lei n.º 96/2008 de 9 de Junho de 2008*.
- [61] VIEGAS, J. C. *Seleção de Caixilharia e seu Dimensionamento Mecânico – ITE51*. LNEC, Lisboa, 2006. ISBN: 978-972-49-2064-1.
- [62] Pinto, A. *Componentes de edifícios - Aspectos de segurança e resistência mecânica do vidro – ITE52*. LNEC, Lisboa, 2010. ISBN: 978-972-49-2136-5
- [63] Casaca, T. *Reconhecimento Mútuo, Regulamento (CE) 764/2008*. 2009.
http://www.ipq.pt/backfiles/REgulamento_FAQS_Caixilharia%20exterior.pdf.
- [64] EN 12211:2000. *Windows and doors–Resistance to wind load–Test method*. CEN (European Committee for Standardization), Brussels, Belgium, 2000.
- [65] EN 12210:1999. *Windows and doors–Resistance to wind load–Classification*. CEN (European Committee for Standardization), Brussels, Belgium, 1999.
- [66] Gil A., Tadeu A., Prata J., Costa J., Simões N., Martins S. *Equipamentos e ensaios de portas e janelas no ITeCons, no âmbito da marcação CE*. IPQ, 2010.
- [67] EN 1027:2000. *Windows and doors–Watertightness–Test method*. CEN (European Committee for Standardization), Brussels, Belgium, 2000.
- [68] EN 12208:1999. *Windows and doors–Watertightness–Classification*. CEN (European Committee for Standardization), Brussels, Belgium, 1999.

- [69] EN 1026:2000. *Windows and doors–Air permeability–Test method*. CEN (European Committee for Standardization), Brussels, Belgium, 2000.
- [70] EN 12207:1999. *Windows and doors–Air permeability–Classification*. CEN (European Committee for Standardization), Brussels, Belgium, 1999.
- [71] EN 13049:2003. *Windows - Soft and heavy body impact - Test method, safety requirements and classification*. CEN (European Committee for Standardization), Brussels, Belgium, 2003.
- [72] EN 12046-1:2003. *Operating forces - Test method - Part 1: Windows*. CEN (European Committee for Standardization), Brussels, Belgium, 2003.
- [73] EN 12046-2:2000. *Operating forces - Test method - Part 2: Doors*. CEN (European Committee for Standardization), Brussels, Belgium, 2000.
- [74] EN 13115:2001. *Windows - Classification of mechanical properties - Racking, torsion and operating forces*. CEN (European Committee for Standardization), Brussels, Belgium, 2001.
- [75] EN 12217:2015. *Doors - Operating forces - Requirements and classification*. CEN (European Committee for Standardization), Brussels, Belgium, 2015.
- [76] EN 14609:2004. *Windows - Determination of the resistance to static torsion*. CEN (European Committee for Standardization), Brussels, Belgium, 2004.
- [77] EN 948:1999. *Hinged or pivoted doors - Determination of the resistance to static torsion*. CEN (European Committee for Standardization), Brussels, Belgium, 1999.
- [78] EN ISO 12567-1:2010. *Thermal performance of windows and doors - Determination of thermal transmittance by the hot-box method - Part 1: Complete windows and doors*. CEN (European Committee for Standardization), Brussels, Belgium, 2010.
- [79] EN ISO 12567-2:2005. *Thermal performance of windows and doors - Determination of thermal transmittance by hot box method - Part 2: Roof windows and other projecting windows*. CEN (European Committee for Standardization), Brussels, Belgium, 2005.
- [80] EN ISO 10077-1:2006. *Thermal performance of windows, doors and shutters - Calculation of thermal transmittance - Part 1: General*. CEN (European Committee for Standardization), Brussels, Belgium, 2006.
- [81] EN ISO 10077-2:2012. *Thermal performance of windows, doors and shutters - Calculation of thermal transmittance - Part 2: Numerical method for frames*. CEN (European Committee for Standardization), Brussels, Belgium, 2012.
- [82] EN ISO 10140-2:2010. *Acoustics - Laboratory measurement of sound insulation of building elements - Part 2: Measurement of airborne sound insulation*. CEN (European Committee for Standardization), Brussels, Belgium, 2010.
- [83] EN ISO 717-1:2013. *Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1: Airborne sound insulation*. CEN (European Committee for Standardization), Brussels, Belgium, 2013.
- [84] EN 410:2011. *Glass in building - Determination of luminous and solar characteristics of glazing*. CEN (European Committee for Standardization), Brussels, Belgium, 2011.
- [85] EN 13363-1:2003+A1:2007. *Solar protection devices combined with glazing - Calculation of solar and light transmittance - Part 1: Simplified method*. CEN (European Committee for Standardization), Brussels, Belgium, 2003.

- [86] EN 13363-2:2005. *Solar protection devices combined with glazing - Calculation of total solar energy transmittance and light transmittance - Part 2: Detailed calculation method*. CEN (European Committee for Standardization), Brussels, Belgium, 2005.
- [87] Remy, O. *Lightweight stay-in-place formwork: a concept for future building applications*. Dissertação de Doutorado. Vrije Universiteit Brussel, Brussels, Belgium, 2012.
- [88] Robert, H. *Think formwork—reduce cost*. Structure magazine. 04/2007, p. 14-16.
http://www.structuremag.org/wp-content/uploads/2014/09/C-Str-Prac-Formwork-Lab-Apr-073_13_07_pac1.pdf
- [89] Office for Official Publications of the European Communities. *The European Framework for Integrated Environmental and Economic Accounting for Forest - IEEAF*. Luxembourg, 2002.
- [90] Ozbakkaloglu, T., Saatcioglu, M. *Seismic behavior of high-strength concrete columns confined by fiber-reinforced polymer tubes*. Journal of Composites for Construction, 2006.
- [91] Papantoniou, I., Papanicolaou, C., Triantafillou, T. *Optimum design of one way concrete slabs cast against Textile Reinforced Concrete Stay-in-Place Formwork Elements*. 03/06/2009.
- [92] Henderson, S., Gupta, R., Whitney, J., Harris-Jones, C., Kuder, K. G., Hawksworth, R. cap.10 Mechanical properties of concrete encased in PVC stay-in-place formwork. In *Excellence in Concrete Construction through Innovation*, p.63-71, Taylor & Francis, London, 2008. ISBN: 978-0-415-47592-1. <http://dx.doi.org/10.1201/9780203883440.ch10>.
- [93] Wahab, N., Soudki, K. A. *Flexural behavior of PVC stay-in-place formed RC walls*. Construction and Building Materials - Vol. 48, 2013, p. 830-839. ISSN: 0950-0618.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061813006879>.
- [94] Havez, A. A. *Behaviour of PVC Encased Reinforced Concrete Walls under Eccentric Axial Loading*. Dissertação de Mestrado, University of Waterloo, 2014.
- [95] Scott, B. D. *Flexural Behaviour of Stay-In-Place PVC Encased Reinforced Concrete Walls with Various Panel Types*. Dissertação de Mestrado, University of Waterloo, 2014.
- [96] Permaform. *Permaform Handbook*. 2014. <http://bigrivergroup.com.au/wordpress/wp-content/uploads/2014/09/Permaform-Handbook-Low-Res.pdf>. 06/15
- [97] Octaform. *Octaform Construction Guide*. 2010. <http://www.octaform.com/wp-content/uploads/Construction-Guide-10.20142.pdf>. 06/15
- [98] http://www.concretopvc.com.br/upload/sites_braskem/pt/concreto_pvc/publicacoes/Descritivo_Canteiros_de_obra.pdf. 06/15.
- [99] Ltd, SWP Australia Pty. *Circular concrete column formwork*. 2014.
<http://swpaustralia.com.au/wp-content/uploads/2014/06/SWPA-Brochure-Apr14-2.pdf>. 06/15.
- [100] Plastube Plastic Products. *Pipes that Work - Features and Benefits*. 2008.
http://www.plastube.com.au/files/features_and_benefits_document_PLASTUBE.pdf. 06/15.
- [101] <http://swpaustralia.com.au/gallery/>. 06/15.
- [102] <http://www.bubbledeck.com/>. 06/15.
- [103] Harding, P. *BubbleDeck—Advanced structure engineering*. BubbleDeck article. 2004, p. 4-7.
- [104] BubbleDeck. *Product Introduction*. 2008.
<http://www.bubbledeck.com/download/BubbleDeck.pdf>. 06/15.

- [105] http://farm8.staticflickr.com/7040/6988165321_f3623d07cb_z.jpg, 06/15. 06/15.
- [106] http://www.ddn.pt/uploads/cms/20130910160109_Tecnologia_BubbleDeck.JPG, 06/15.
- [107] Principia Consulting, LLC. *Residential Decking & Railing 2013*. 2013. 07/15.
- [108] Rowell, R. M. *Handbook of wood chemistry and wood composites*. CRC Press, 2012. ISBN: 1439853800.
- [109] AZEK. *AZEK Deck FAQ's*. 2014. <http://www.azek.com/get-inspired/faqs.aspx#qDecking-8> 07/15.
- [110] <http://www.homedesigndirectory.com.au/images/build-your-own-deck/timber-deck-isometric-drawing.png>, 07/15.
- [111] http://www.azek.com/files/photo-gallery/mid-res/Reserve_White_High-dt.jpg. 07/15.
- [112] <http://www.azek.com/>. 07/15.
- [113] <http://timbertech.com/>. 07/15.
- [114] http://images.meredith.com/diy/images/2009/06/p_100195647.jpg. 07/15.
- [115] <http://inspectapedia.com/exterior/DreamPorches-MSnow050df.jpg>. 07/15.
- [116] <http://www.allremont59.ru/wp-content/uploads/2012/11/deck-9.jpg>. 07/15.
- [117] http://www.azek.com/files/files/technical-center/techincal-docs/Deck%2CPorch/Fastening%20Quad%20Fold%20Brochure_2014_REV.pdf. 07/15.
- [118] <http://www.pavimentossilva.com/produto/concealoc/>. 07/15.
- [119] <http://www.trusscore.ca/specifications/>. 07/15.
- [120] <http://www.nuformdirect.com/>. 07/15.
- [121] <http://zelletex.com.au/installing-pvc-panels/diy-installation/>. 07/15.
- [122] <http://www.epiplastics.thomaswebs.net/extrutechpartitionwallssystem.html>. 07/15.
- [123] <http://mswplastics.ca/norlock-pvc-panels-planking>. 07/15.
- [124] <http://www.pinheioribeiro.pt/casas-modulares>. 07/15.
- [125] Pinheiro & Ribeiro. *Ficha Técnica - Modular House*.
http://www.pinheioribeiro.pt/admin/content/modulares/modular_house_pt_1382526283.pdf. 07/15.

ANEXOS

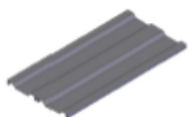
ANEXO A1 – COMPONENTES DO SISTEMA OCTAFORM

ANEXO A2 – PORMENORIZAÇÃO CONSTRUTIVA DO SISTEMA OCTAFORM

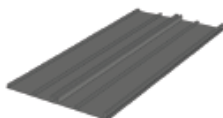
ANEXO A1 – COMPONENTES DO SISTEMA OCTAFORM

PANELS

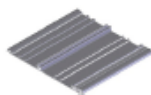
PC6
Corrugated 6"
PC6-4210



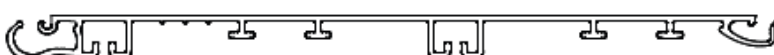
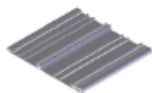
PF6R
6" Corner Flat
PF6R-4209



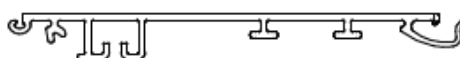
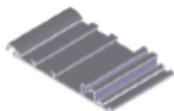
PT6
SLT Panel Flat 6"
PSLT6-4217



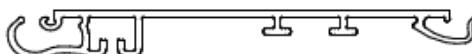
PT5.75
SLT Panel Flat 5.75"
PSLT5.75-4337



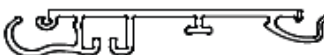
PT3J
SLT Joiner Panel 3"
PSLT3J-4224



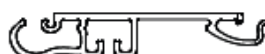
PT3
SLT Panel Flat 3"
PSLT3-4300



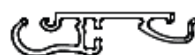
PT2
SLT Panel Flat 2"
PSLT2-4227











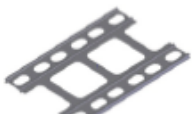

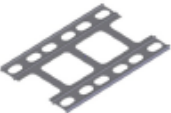

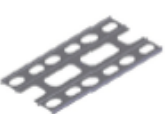





PT1.5
SLT Panel Flat 1.5"
PSLT1.5-4200



PT1
SLT Panel Flat 1"
PSLT1-4226



CONNECTORS

| | | |
|---|---|--|
| C12 Connector 12" C12-1612 Z |  |  |
| C11 Connector 11" C11-1611 Z |  |  |
| C10 Connector 10" C10-1611 Z |  |  |
| C9 Connector 9" C9-0 |  |  |
| C8 Connector 8" C8-1604 Z |  |  |
| C7 Connector 7" C7-4306 |  |  |
| C6 Connector 6" C6-1601 Z |  |  |
| C4 Connector 4" C4-1646 Z |  |  |
| C2 Connector 2" C2-4192 |  |  |

VARIOUS

JRO
Outside Corner Joiner
JRO0



JFFF
Joiner Female-Female-Female
JFFF-1779 Z



JRI
Inside Corner Joiner
JRI0



JFF
Joiner Female-Female
JFF-1616 Z



JRA
Connector Extension
JRA0



IC
Insulation Clip 1LF = 6 Pcs
ICIM



JMMH
Joiner M/M Holder
JMMH-4208



CG
Connector Guide
CG-4193



JMM90
Joiner Male-Female 90°
JMM901697 Z



TC
SLT Joiner Clip
PSLTC-4201



JMF90
Joiner Male-Female 90°
JMF90-1616



JMF
Joiner Male-Female
JMF-1740 Z



B451
Brace 45 Degree
B461-1602 Z-V1



L4
Internal Components: Ledger 4"
L4-1767 Z



L2
Internal Components: Ledger 2"
L2-1721 Z



ANEXO A2 – PORMENORIZAÇÃO CONSTRUTIVA DO SISTEMA OCTAFORM

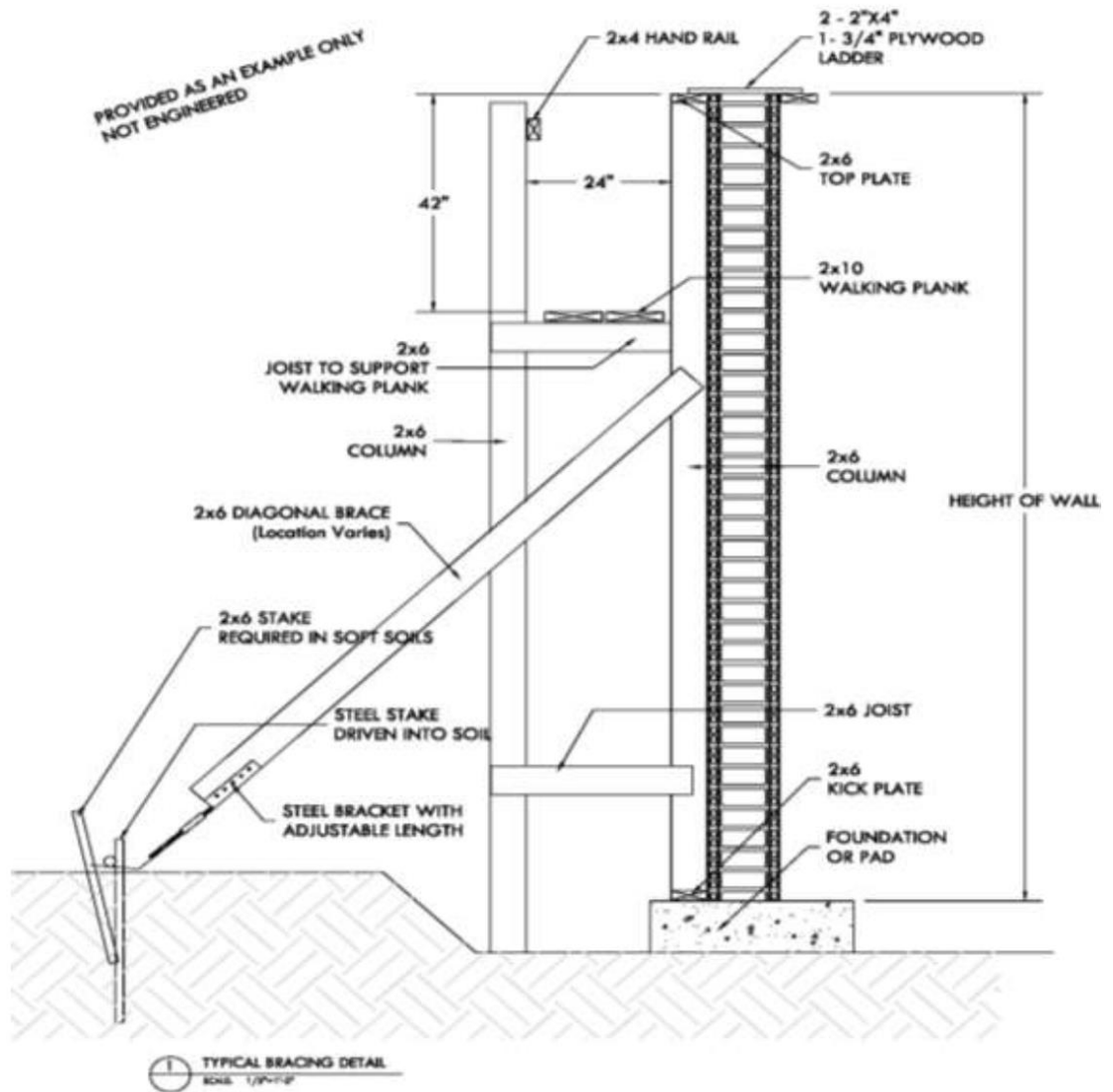


Fig.A2.1 – Escoramento de Madeira em H

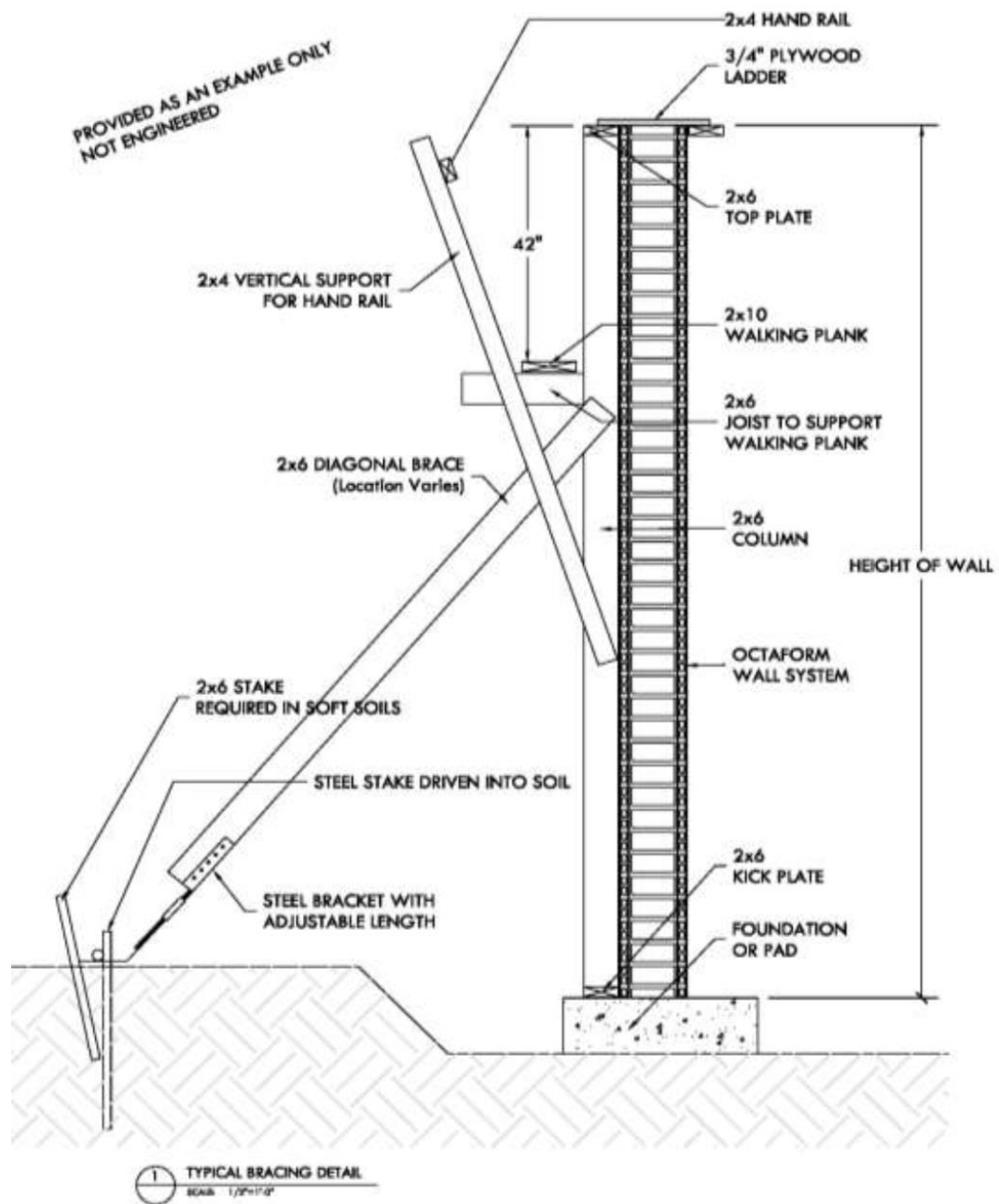


Fig.A2.2 – Escoramento de Madeira em Y

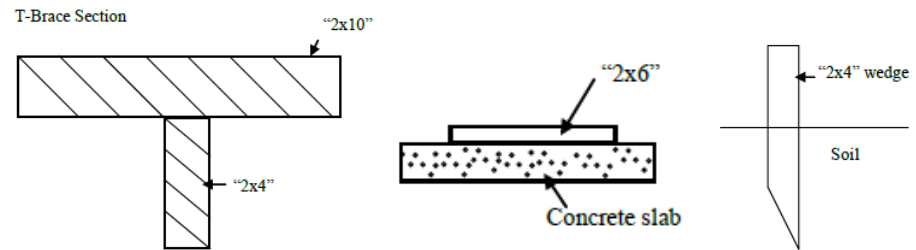


Fig.A2.3 – Peças para escoramento de cantos

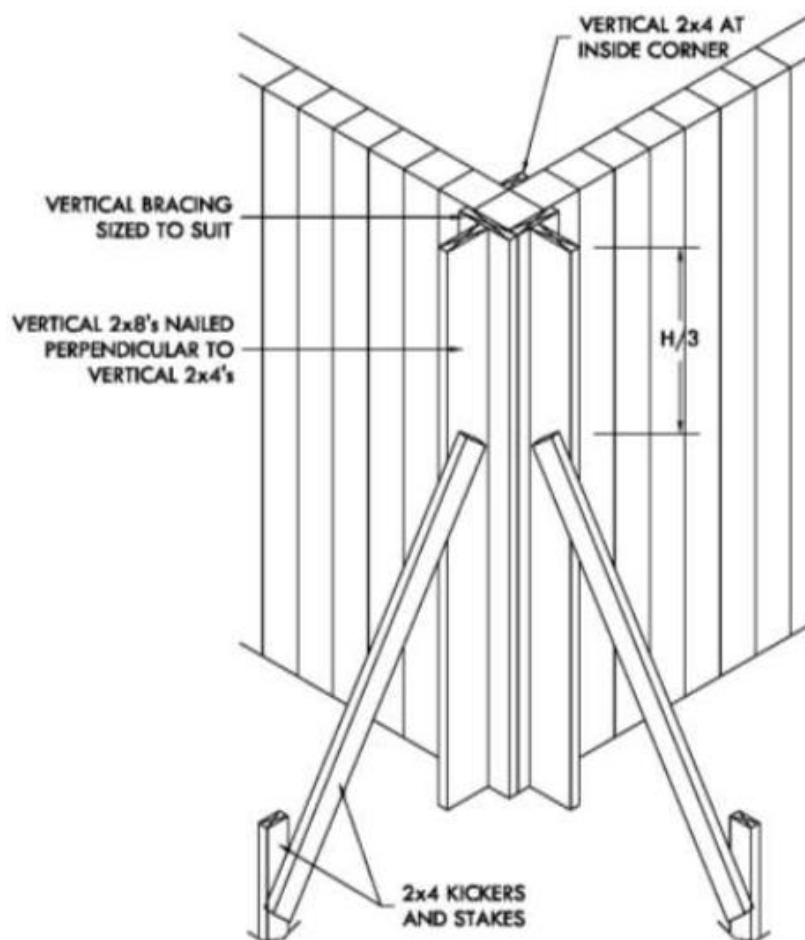


Fig.A2.4 – Esquema de escoramento de cantos

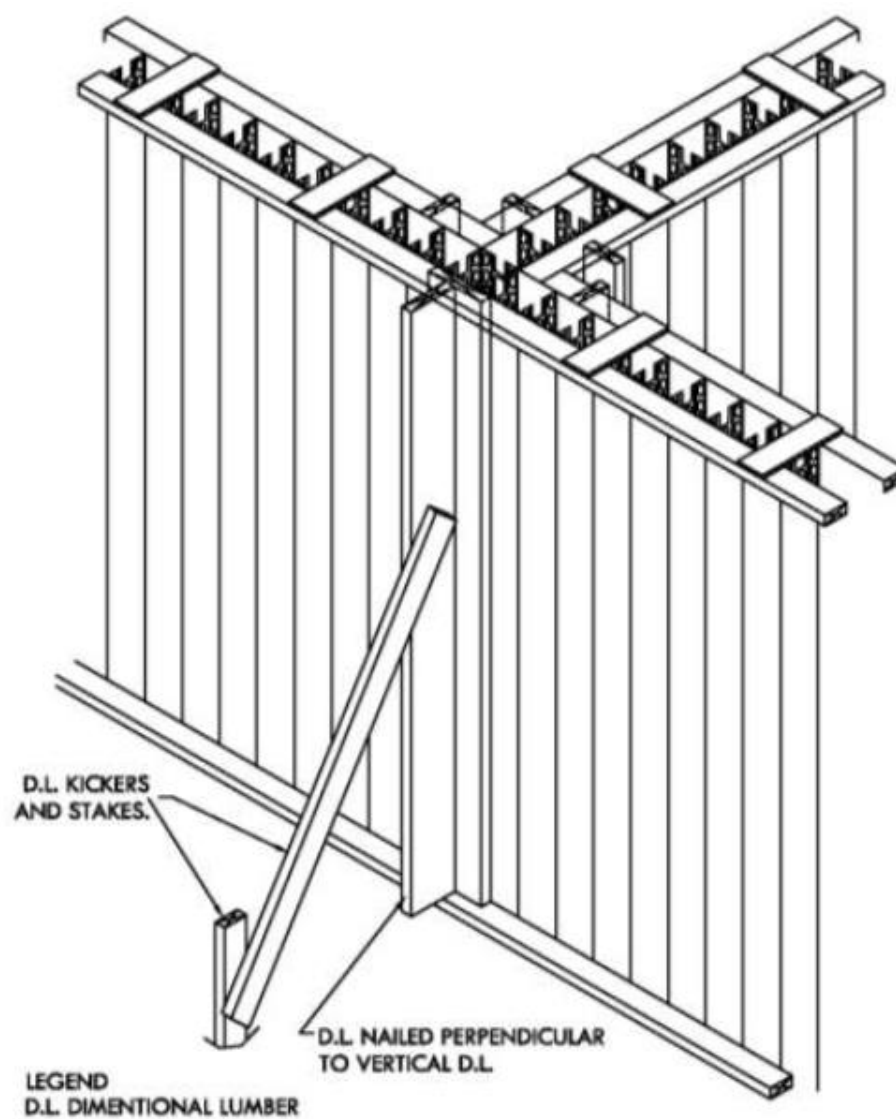


Fig.A2.5 – Escoramento de interseções de paredes

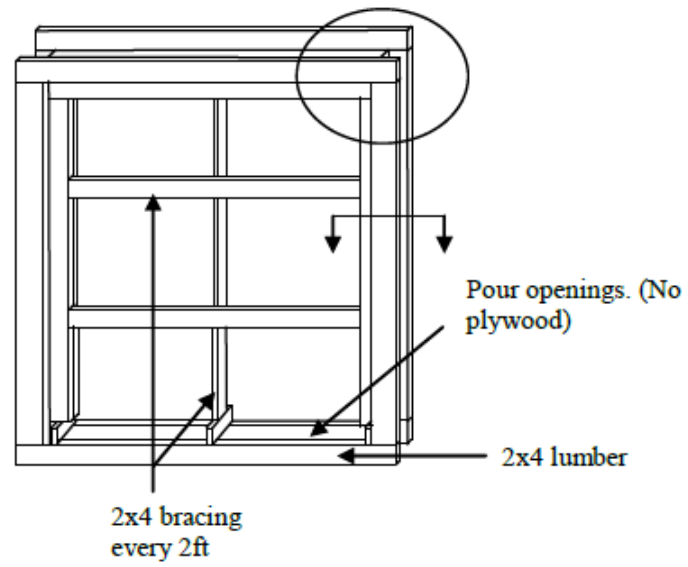


Fig.A2.6 – Detalhe de aro de janela em madeira

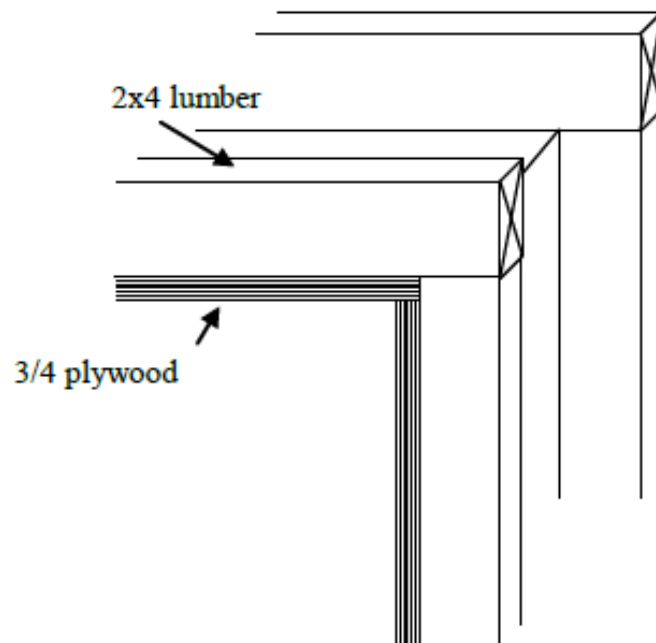


Fig.A2.7 – Detalhe do canto superior direito dos aros da janela em madeira

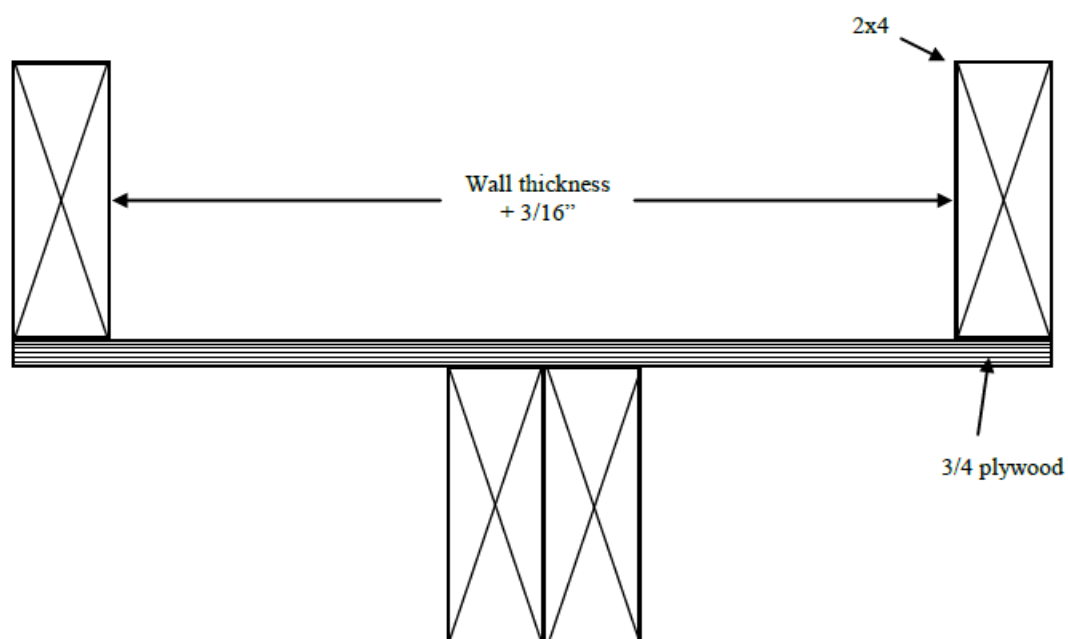


Fig.A2.8 – Corte horizontal ao nível da ombreira dos aros das janelas em madeira

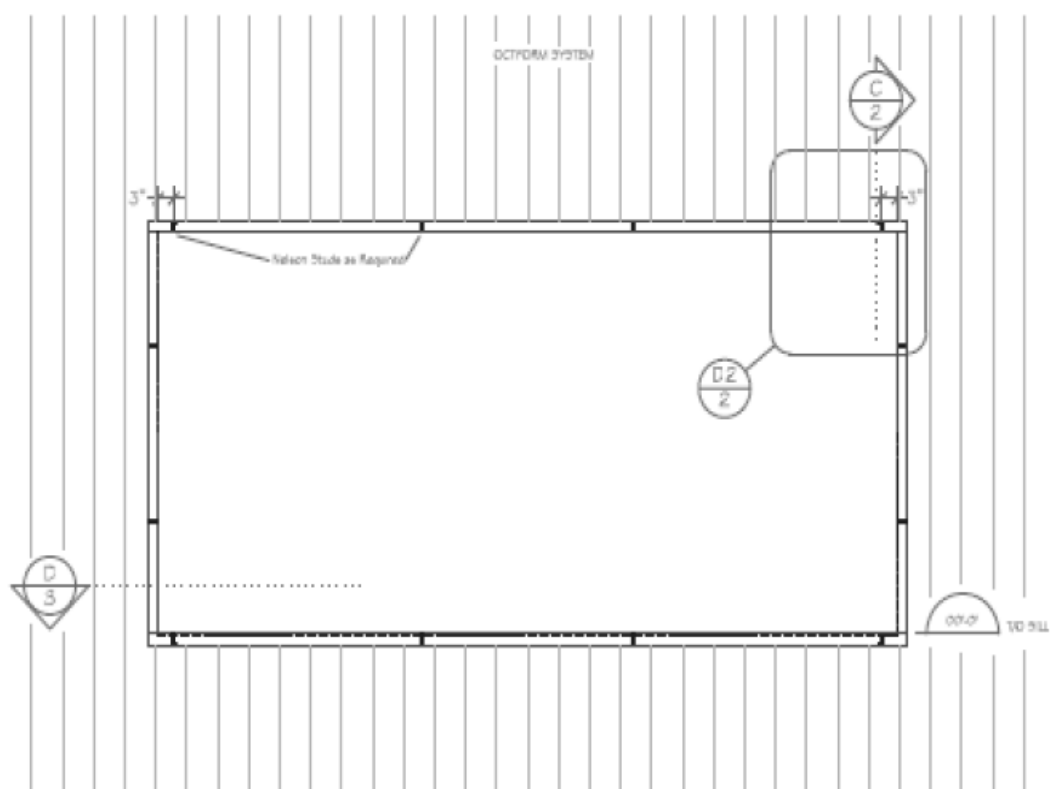


Fig.A2.9 – Vista de aro de janela em chapa metálica

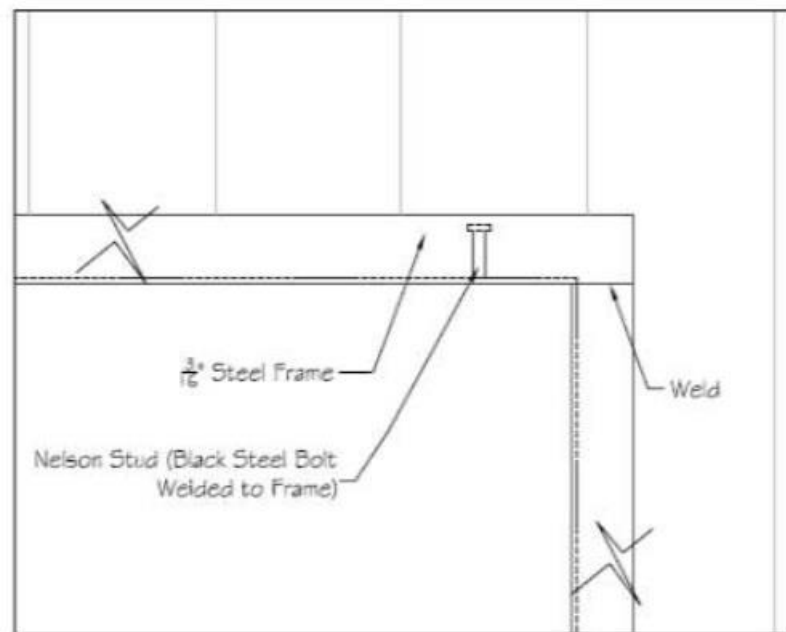


Fig.A2.10 – Detalhe do canto superior direito na configuração de aro de janela metálico

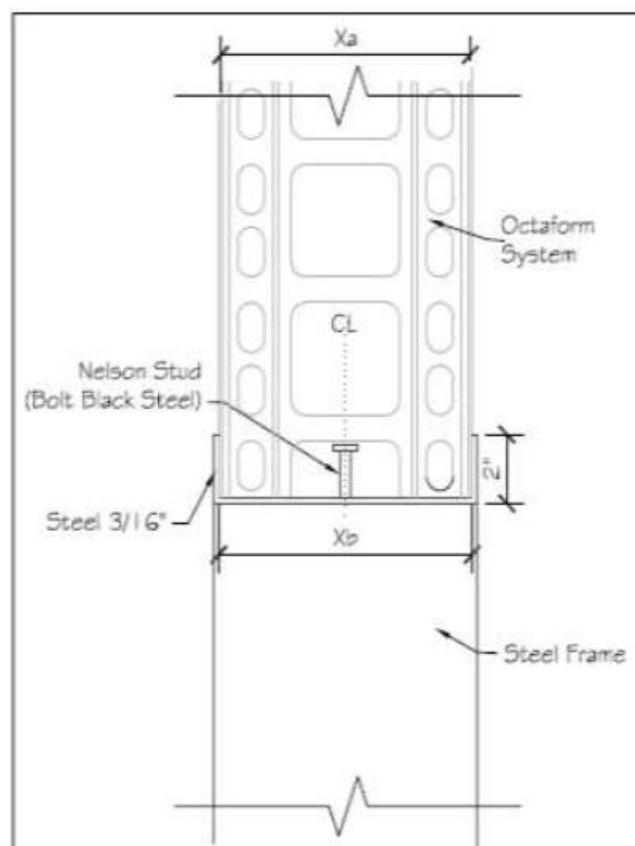


Fig.A2.11 – Corte vertical no canto superior direito da configuração de aro de janela metálico

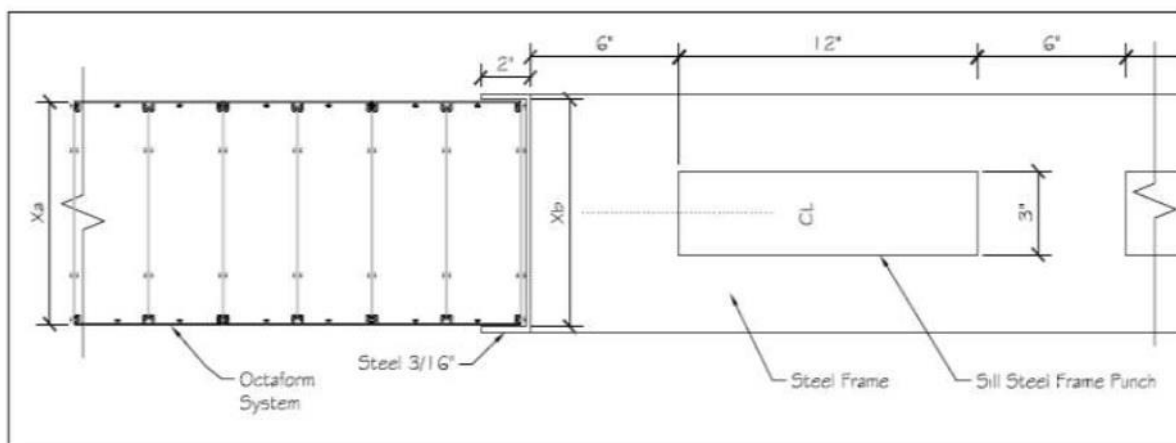


Fig.A2.12 – Corte horizontal ao nível do peitoril da configuração de aro de janela metálico

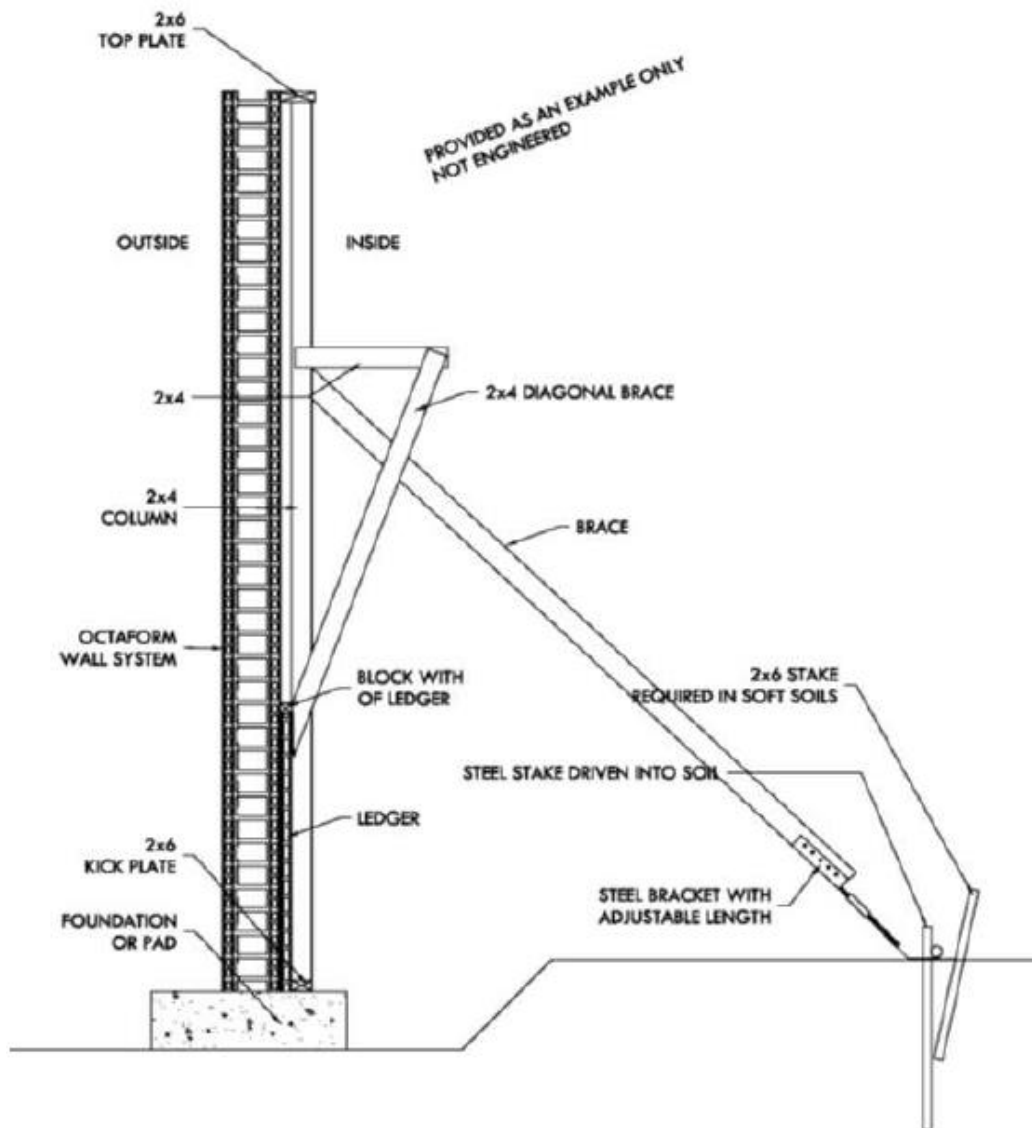


Fig.A2.13 – Esquema de escoramento de saliências de suporte